

Natur und Geisteswelt

g wissenschaftlich=gemeinverständlicher Darstellungen

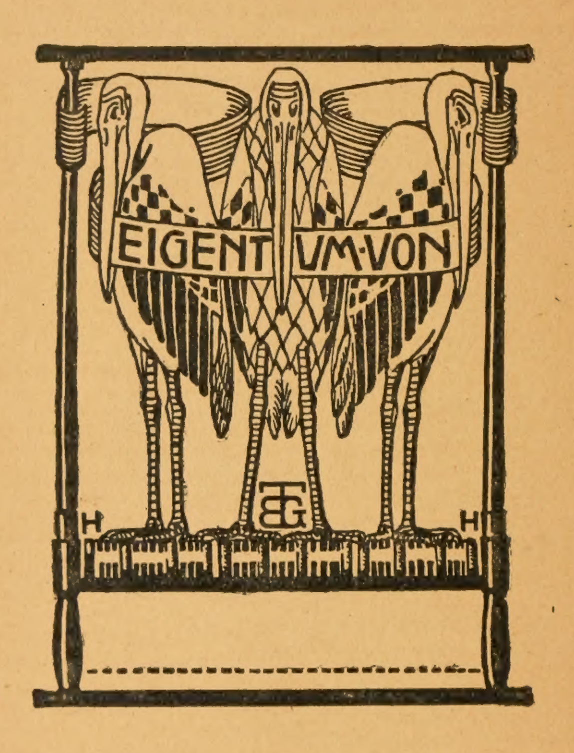
G. Mie

Moleküle, Atome, Weltäther

Dritte Auflage



lag von B. G. Teubner in Leipzig



Ein vollständiges Verzeichnis der Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt" befindet sich am Schluß dieses Bandes.

Die Sammlung
„Aus Natur und Geisteswelt"

die nunmehr auf ein mehr denn zehnjähriges Bestehen zurückblicken darf und jetzt über 350 Bände umfaßt, von denen 70 bereits in zweiter bis vierter Auflage vorliegen, verdankt ihr Entstehen dem Wunsche, an der Erfüllung einer bedeutsamen sozialen Aufgabe mitzuwirken. Sie soll an ihrem Teil der unserer Kultur aus der Scheidung in Kasten drohenden Gefahr begegnen helfen, soll dem Gelehrten es ermöglichen, sich an weitere Kreise zu wenden, dem materiell arbeitenden Menschen Gelegenheit bieten, mit den geistigen Errungenschaften in Fühlung zu bleiben. Der Gefahr, der Halbbildung zu dienen, begegnet sie, indem sie nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen ihre Aufgabe sucht, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten. So lehrt sie nicht nur die zurzeit auf jene Fragen erzielten Antworten kennen, sondern zugleich durch Begreifen der zur Lösung verwandten Methoden ein selbständiges Urteil gewinnen über den Grad der Zuverlässigkeit jener Antworten.

Es ist gewiß durchaus unmöglich und unnötig, daß alle Welt sich mit geschichtlichen, naturwissenschaftlichen und philosophischen Studien befasse. Es kommt nur darauf an, daß jeder Mensch an einem Punkte sich über den engen Kreis, in den ihn heute meist der Beruf einschließt, erhebt, an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens gewinnt. In diesem Sinne bieten die einzelnen, in sich abgeschlossenen Schriften gerade dem „Laien" auf dem betreffenden Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische eine gedrängte, aber anregende Übersicht.

Freilich kann diese gute und allein berechtigte Art der Popularisierung der Wissenschaft nur von den ersten Kräften geleistet werden; in den Dienst der mit der Sammlung verfolgten Aufgaben haben sich denn aber auch in dankenswertester Weise von Anfang an die besten Namen gestellt, und die Sammlung hat sich dieser Teilnahme dauernd zu erfreuen gehabt.

So wollen die schmucken, gehaltvollen Bände die Freude am Buche wecken, sie wollen daran gewöhnen, einen kleinen Betrag, den man für Erfüllung körperlicher Bedürfnisse nicht anzusehen pflegt, auch für die Befriedigung geistiger anzuwenden. Durch den billigen Preis ermöglichen sie es tatsächlich jedem, auch dem wenig Begüterten, sich eine kleine Bibliothek zu schaffen, die das für ihn Wertvollste „Aus Natur und Geisteswelt" vereinigt.

Leipzig, 1911. **B. G. Teubner.**



N. Kopfnack.

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
58. Bändchen

Moleküle, Atome, Weltäther

Von

Dr. Gustav Mie
o. ö. Professor der Physik in Greifswald

Dritte Auflage

Mit 32 Figuren im Text



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1911

Vorbemerkung.

Dieses kleine Buch ist entstanden aus der Niederschrift eines sechsstündigen Vortragszyklus, den ich in dem Ferienkursus in Greifswald im Juli 1903 gehalten habe. Doch habe ich auf diesem Grundstock noch sehr viel weiter gebaut, um dem Leser einen Blick auf das ganze System der heutigen Physik zu bieten. Damit ich aber dem Ausdruck möglichst viel Lebhaftigkeit verleihen könnte, habe ich auch in den später hinzugefügten Teilen die Form des Vortrages beibehalten.

Greifswald, Januar 1904.

Gustav Mie.

Zur dritten Auflage.

Während die erste Hälfte des Buches, die im wesentlichen meine Vorträge von 1903 wiedergibt, auch jetzt noch nur durch wenige Zusätze erweitert zu werden brauchte, um den heutigen Stand der Wissenschaft zu zeigen, habe ich die zweite Hälfte, die vom Weltäther und seiner Verknüpfung mit der Materie handelt, vollkommen neu ausgearbeitet. Diese Abschnitte waren zuerst nur als eine Art Anhang an meine Vorträge angefügt und waren wenig geeignet, einen Uneingeweihten in die merkwürdigen Gedankengänge der neuesten Physik einzuführen. Meine neue Ausarbeitung verfolgt das Ziel, auch einem mit physikalischen Dingen ganz unbekannten Laien eine Vorstellung von der neuen höchst interessanten Entwicklung der Wissenschaft zu geben.

Greifswald, Mai 1911.

Gustav Mie.

Inhaltsverzeichnis.

Verzeichnis der Abbildungen.

1. Die körnige Struktur der Materie.

Oft führt man die physische Atomtheorie auf antike Philosophen zurück, nämlich auf Demokrit von Abdera und auf die Epikuräer, die ihm in ihrer Atomlehre folgten. Man darf dabei aber nur an einen historischen Zusammenhang denken, keineswegs an einen logischen. Denn, wenn auch die Begründer der physikalischen Atomlehre vielfach durch die Ideen Demokrits angeregt sein mögen, so betrachtet doch die Physik überhaupt die Welt von einem durchaus anderen Gesichtspunkt aus, als die Philosophie. Man kann freilich oft genug die Ansicht aussprechen hören, die Atomlehre wolle den letzten Grund der Dinge erforschen, die Atome seien die letzten Elemente des Wirklichen, und wenn man durch ihre Formen, Kräfte und Bewegungen alle Erscheinungen erklären könnte, so würde man damit alle Probleme überhaupt gelöst haben. Aber nichts ist verkehrter als diese Ansicht. Die Frage nach dem wahren Wesen der Dinge kann sich wohl die philosophische Forschung stellen, die Naturwissenschaft kann mit den ihr eigentümlichen, auf ihr bestimmtes Ziel hin ausgearbeiteten Methoden an eine derartige Frage überhaupt gar nicht herantreten. Ob wir persönlich danach verlangen,

> daß wir erkennen, was die Welt
> in ihrem Innersten zusammenhält,

oder ob wir als „Aphilosophen" (wie sich Boltzmann, einer der bedeutendsten neueren Physiker, gelegentlich einmal nannte) den Sinn und Wert dieses Verlangens negieren, wenigstens für uns persönlich, das ist für die Naturwissenschaft an und für sich ganz ohne Belang. Ihr Ziel ist, die Welt einfach so, wie sie sich unseren äußeren Sinnesorganen darbietet, ohne sich durch Fragen nach ihrem „Kern" irritieren zu lassen, in ein möglichst einfaches System klarer Begriffe einzuordnen. So ist auch die physikalische Atomlehre weiter nichts als die kurze,

logisch notwendige Zusammenfassung einer großen Menge sinnlich wahrgenommener Tatsachen unter einen Begriff.

Keineswegs folgt aus dem Begriff der Materie an sich schon, daß sie aus kleinen, räumlich getrennten Teilchen, den Atomen aufgebaut sein müsse. Denn was ist Materie? Zunächst doch nichts weiter als ein Begriff, mit dem unser Verstand in die verwirrende Menge der Sinneserscheinungen Ordnung bringt. Wenn ich zum Beispiel meine Hand hierhin, auf den Tisch strecke, so fühle ich einen Widerstand gegen meine Bewegung, zugleich haben meine Tastnerven eine bestimmte Empfindung, die wir mit dem Worte „glatt" (oder „rauh" usw.) bezeichnen, ich fühle ferner an meiner Hand kalt oder warm, bewege ich die Hand schneller, so höre ich in demselben Augenblick, wo sich der Widerstand fühlbar macht, einen kurzen dumpfen Ton, und mit all diesen Wahrnehmungen steht endlich auch ein bestimmtes Bild vor meinen Augen, untrennbar von den anderen Sinnesempfindungen, wenigstens solange es hell ist. Dieses Chaos der verschiedenartigsten Empfindungen arbeitet unser Verstand zu einem wohlgeordneten Gebilde um, indem er sie alle als Prädikate einem einzigen Subjekt zuordnet, das er ihnen setzt, nämlich dem „materiellen Gegenstand", und sie so zugleich aus uns heraus in die „Außenwelt" projiziert. Er sagt: Hier ist eine Tischplatte, ein Körper von besonderer Art, verschieden von seiner Umgebung, glatt, kalt, hart, der beim Aufschlagen einen Ton gibt, von brauner Farbe, von viereckiger Gestalt, ein Ding, das unabhängig von mir, außer mir existiert. Damit fügt aber der Verstand zu den reinen Sinneswahrnehmungen eine Reihe von Aussagen hinzu, ohne die allerdings seine ordnende Tätigkeit unmöglich wäre, die aber doch nicht mit den Sinnesempfindungen zugleich schon gegeben sind; nämlich Aussagen, wie zum Beispiel diese: daß zwischen den vorhin aufgezählten Sinnesempfindungen ein wesentlicher Zusammenhang bestehe, daß also die eine nicht ohne die andere auftreten könne, und daß sie immer wiederholt werden können, solange nicht besondere Vorgänge (wie z. B. Feuer), die sich jedenfalls in ganz bestimmter Weise den Sinnen darbieten müßten, den Tisch etwa zerstören; ferner: daß alle normalen Menschen dieselben Wahrnehmungen machen können wie ich; daß die Wahrnehmungen sich nicht einander widersprechen können, daß z. B. der Tisch nicht gleichzeitig rund und viereckig erscheinen kann. Solche

Aussagen, die durch die ordnende Tätigkeit des Verstandes bedingt sind, nennen wir Aussagen „a priori“. Ihre Wichtigkeit springt einem recht ins Auge, wenn man gegen die geordneten Wahrnehmungen vergleichend Traumerlebnisse hält, in denen freilich auch eine große Menge von Empfindungen in unserem Bewußtsein auftritt, aber ohne die ordnende Kraft des Verstandes. In einer solchen Traumwelt werden die Eigenschaften der Dinge, ja die Dinge und Personen selbst ganz ohne Ordnung verändert und vertauscht, in ihr gelten die logischen Gesetze des Verstandes von Identität und Kausalität nicht, deswegen ist hier jede Erfahrung und Erkenntnis ausgeschlossen.

Können wir nun von dem materiellen Körper a priori noch mehr aussagen, als daß er als Verstandesprodukt den Gesetzen des Verstandes unterworfen sein muß? Zweierlei allerdings: nämlich erstens, daß wir die sinnlichen Wahrnehmungen notwendigerweise in eine räumliche Ordnung bringen müssen, daß also der materielle Körper ein dreidimensionales räumliches Gebilde sein muß, und zweitens, daß sich alle Veränderungen in eine zeitliche Reihenfolge einordnen lassen, daß also alles Geschehen in der Zeit vor sich geht. Damit sind wir dann aber auch fertig. Über die Eigenschaften der Dinge selbst kann der Verstand, dessen Tätigkeit allein darin besteht, Ordnung und System in die Sinneswahrnehmungen zu bringen, nichts aussagen. Diese Eigenschaften sind ja nichts anderes als jene Sinneswahrnehmungen, die unabhängig von unserm Willen und Verstand auftreten, sie sind jenes Rohmaterial, aus dem der Verstand das wohlgefügte Gebilde des materiellen Körpers zusammenschmiedet.

So können wir denn a priori auch nichts darüber aussagen, ob ein Körper, der, wie z. B. eine Glasscheibe, durch und durch gleichartig erscheint, sich auch bei genauerer Untersuchung so erweisen wird, oder ob man ihn nicht in ein Gewirr von kleinen Teilchen auflösen kann, die in ihm zu einem scheinbar einheitlichen Ganzen verkittet sind. Das Papier, auf dem ich schreibe, sieht ja auch aus der Entfernung aus, wie ein einheitlicher weißer Körper. Betrachte ich es aber mit der Lupe, so löst es sich in eine Menge miteinander verklebter Fäserchen auf. Diese beiden, scheinbar verschiedenen Aussagen widersprechen sich nicht, weil ich in der größeren Entfernung nur das durchschnittliche Bild der aus kleinen Teilchen zusammengesetzten

Fläche bekomme. Ebenso könnten die Wahrnehmungen, die ich gewöhnlich an dem scheinbar homogenen Stück Glas mache, sich bei genauerer Untersuchung als das durchschnittliche Verhalten eines in Wirklichkeit zusammengesetzten Stoffes herausstellen.

Wir haben indessen bei all diesen Erwägungen noch einen sehr wichtigen Punkt außer acht gelassen. Wenn wir sagen, die Eigenschaften der Dinge seien unsere sinnlichen Empfindungen selbst, so entspricht diese Definition wohl dem primitiven Verfahren, durch das wir uns zuerst über die Dinge der Außenwelt orientieren, indessen nicht dem eigentlichen wissenschaftlichen Verfahren. Wollen wir uns in der Physik beispielsweise über den Wärmezustand eines Körpers informieren, so bestimmen wir ihn nicht einfach durch unser Wärmegefühl, sondern wir nehmen dazu das Thermometer. Wir wissen, daß ein und derselbe Körper, jedesmal wenn ein mit ihm in Berührung gebrachtes Thermometer dieselbe Einstellung zeigt, auch an unserer Hand dasselbe Wärmegefühl erzeugt, und ferner, daß unter sonst gleichen Umständen jedem anderen Wärmegefühl auch eine andere Einstellung des Flüssigkeitsfadens im Thermometer entspricht. Wir sind deswegen berechtigt, unsere direkte Empfindung der Wärme durch das Bild zu ersetzen, daß ein mit dem Körper verbundenes Thermometer dem Auge darbietet. Zunächst erreichen wir durch diese Ersetzung der einfachen Empfindung durch die kompliziertere Beobachtung mit dem Thermometer zwei ganz unschätzbare Vorteile. Erstens hängt die einfache Wärmeempfindung wesentlich ab von dem Zustande, in dem sich unser eigener Körper gerade befindet. Ich nenne ein und denselben Gegenstand warm, wenn ich gerade in kalter Witterung gegangen bin, kalt, wenn ich in einem heißen Zimmer gewesen bin, während das Thermometer dem Auge beidemal denselben Anblick darbietet. Wir kommen deswegen zur Erkenntnis einfacher Zusammenhänge der Sinneswahrnehmungen nur dann, wenn wir immer das Bild des Thermometers als Charakteristikum des Wärmegrades eines Körpers annehmen. Wir brauchen dann eben nicht erst die ganze Vorgeschichte der Beobachtung zu erzählen und was für Wahrnehmungen wir über den Zustand unseres eigenen Leibes gemacht haben, Dinge, die jedenfalls an und für sich höchst langweilig und uninteressant sind. Zweitens aber — und das ist besonders merkwürdig — setzt uns das Thermometer auch in den Stand, Wärmegrade zu

beobachten, die der direkten Empfindung nicht zugänglich wären, von der Temperatur des siedenden Wassers bis zu den höchsten Hitzegraden hin, bei denen unser Finger einfach sofort verbrennen würde, und ebenso Grade von Kälte, die dem Finger verderblich sein würden, wie wir sie in der flüssigen Luft beispielsweise haben. Mit Hilfe des Thermometers setzen wir also den Begriff der Temperatur nach beiden Seiten über den dem einfachen Empfinden wahrnehmbaren Bereich fort.

Es ist eigentlich das Wesen der von Galilei gefundenen experimentellen Methode der Naturwissenschaft, daß sie stets die einfache Sinneswahrnehmung in der eben geschilderten Weise durch kompliziertere Beobachtungen ersetzt, die so einzurichten sind, daß erstens unsere Wahrnehmungen möglichst frei von zufälligen Einflüssen sind, wie zum Beispiel unserem persönlichen Befinden, und daß zweitens auch solche Eigenschaften beobachtet werden können, für die uns keine brauchbaren Sinnesorgane zur Verfügung stehen.

Dennoch besteht das Material, das die Naturwissenschaft verarbeitet, im letzten Grunde immer nur aus Sinneswahrnehmungen, wenn sie auch durch Vermittlung besonderer Instrumente geschehen. Man gestatte mir ein einfaches Gleichnis! Ein Handwerker arbeitet schließlich doch alles mit seiner Hand, wenn auch durch Vermittlung der Werkzeuge. Man kann die Werkzeuge gewissermaßen seine künstlichen Gliedmaßen nennen, die er seiner Hand ansetzt, um sie fähig zu machen, in harte Körper zu bohren oder sie zu zerschneiden oder sonst Dinge zu arbeiten, die den Fingern von Natur unmöglich wären. So bilden die physikalischen Instrumente zusammen mit dem Auge des Naturforschers künstliche Sinnesorgane, die besonders geschickt sind, um bestimmte Eigenschaften der Materie zu beobachten, und die auch in Gebiete eindringen, die den natürlichen Organen unzugänglich sind. Solcher Sinnesorgane, die zur Beobachtung einer bestimmten Eigenschaft taugen, gibt es aber im allgemeinen mehrere von mannigfach verschiedenem Bau. So haben wir zur Beobachtung der Temperatur schon zwei Arten von Organen genannt: unsere wärmeempfindliche Haut und das gewöhnliche Thermometer. Diesem künstlichen Organ kann man aber wiederum sehr verschiedene Formen geben, je nach dem spezielleren Zweck, zu dem es gebraucht wird: mit großer oder mit kleiner Kugel, mit Quecksilber oder mit Alkohol oder noch anderen

Flüssigkeiten als Füllung; im Gasthermometer ist das Gefäß mit einem Gase gefüllt, dessen Druckänderung man mißt, indem man Sorge trägt, daß der vom Gase eingenommene Raum konstant bleibt. Auf ganz anderen Prinzipien beruhen weiter die beiden in der Physik oft gebrauchten elektrischen Thermometer: das Thermoelement und das Widerstandsthermometer, hier liest man den Ausschlag eines elektrischen Strommessers ab. Wieder ein ganz anderer Typus von Thermometer ist das neuerdings konstruierte optische Thermometer für Gluttemperaturen, in welchem man das Aussehen der Glut mit dem des Fadens einer elektrischen Glühbirne vergleicht, der von einem bestimmten elektrischen Strom durchflossen wird. Diese Beispiele ließen sich noch vermehren.

Dadurch werden wir nun aber zu einer sehr folgenschweren Überlegung geführt. Durch die Mannigfaltigkeit der „Sinnesorgane", die alle zur Wahrnehmung einer und derselben Eigenschaft dienen, wird der Begriff dieser Eigenschaft losgelöst von der Natur des speziellen Sinnesorgans, mit dem man sie beobachtet. Die Eigenschaft wird zu einem Begriff, mit dem wir eine größere Anzahl von beobachteten (ja vielleicht auch in Zukunft erst zu beobachtenden) Wirkungen in eine Beziehung zueinander bringen, indem wir behaupten, daß sie alle notwendig zusammenhängen. So bedeutet beispielsweise die Aussage, ein Körper habe die Temperatur 43° C, daß bei der Berührung mit ihm 1. der Finger eine ganz bestimmte Wärmeempfindung habe, 2. die Flüssigkeit eines Thermometers eine ganz bestimmte Volumenausdehnung zeige, 3. der Gasinhalt eines Gasthermometers einen bestimmten Druck annehme, 4. ein Thermoelement eine bestimmte elektrische Spannung bekomme, 5. ein Draht einen ganz bestimmten Widerstand für elektrische Ströme zeige usf. So erheben wir den Begriff des Zustandes oder der Eigenschaft der Materie zu einer höheren Allgemeinheit, aber er verliert damit zugleich seinen ursprünglichen Anschauungsinhalt, falls er einen hatte. Sehr viele Eigenschaften der Materie beobachten wir allerdings von vornherein nur mit Instrumenten, und sie haben deswegen niemals einen einfachen, anschaulichen Sinn gehabt, sie waren von vornherein nur Beziehungsbegriffe zwischen verschiedenen Beobachtungen. Ich nenne z. B. die elektrische Feldstärke, die dunkle Strahlung und die mannigfachen zusammengesetzteren Begriffe, die man oft die physikalischen

Konstanten der Materie nennt, wie spezifische Wärme, elektrischer Widerstand, Brechungsexponent usw. usw.

Entsprechend ihrem abstrakten Charakter bezeichnen wir die physikalischen Eigenschaften eines Körpers durch Nummern (z. B. 43° C), die so gewählt sind, daß man aus ihnen möglichst einfach alle die an den Instrumenten beobachteten Tatsachen rekonstruieren kann. So sind denn schließlich die materiellen Körper für den Physiker Raumgebilde, in denen jedem Punkte eine Anzahl von Nummern zugeordnet ist, die die Eigenschaften und die Zustände des Körpers an der betreffenden Stelle angeben, und das ganze Raumgebilde mitsamt den Nummern ändert sich in der Zeit. Aus diesem blassen Gedankending kann sich der Kundige aber jederzeit die sinnlichen Wahrnehmungen, für die es gesetzt ist, rekonstruieren. Das ist eben die Kunst der wissenschaftlichen Begriffsbildung, daß sich diese Rekonstruktion möglichst leicht und schnell machen läßt.

Meistens kommt es uns gar nicht so recht zum Bewußtsein, mit welch abstrakten Begriffen wir fortwährend operieren, ehe es uns durch eine bestimmte, scharf ausgearbeitete Theorie recht deutlich gemacht wird. Hierher gehören gerade die im folgenden besprochenen Theorien von den Atomen und Molekülen, von der Wellennatur des Lichtes, vom Weltäther. Obwohl diese Theorien keinen größeren Aufwand von Abstraktion erfordern, als wir unbewußt von vornherein gerne leisten, sobald wir uns an die experimentelle Erforschung der Natur begeben, und obwohl sie nur die Konsequenzen sind, zu denen wir notgedrungen fortschreiten müssen, wenn wir uns einmal auf das Gebiet der Naturwissenschaft gewagt haben, so sehen wir doch häufig erst, wenn wir bei ihnen angelangt sind, daß wir die schöne Welt, die in bunten Farben erglänzt, die uns erwärmt oder kühlend erfrischt, die uns umtönt, die uns weich streichelt und hart stößt, daß wir sie längst hinter uns gelassen haben und uns unter lauter abstrakten Begriffen bewegen. Aus dieser unangenehmen Überraschung sucht man sich dann dadurch zu retten, daß man die Atome, die Lichtwellen, den Weltäther für rein hypothetische Dinge erklärt, Notbehelfe, die eine spätere Zeit hoffentlich einmal aus der Wissenschaft herausschaffen werde.

Mein Wunsch ist, Sie in diesen Vorträgen zu überzeugen, daß in diesen Begriffen, wenn man es nur versteht, sich leicht

zwischen dem Abstrakten und den anschaulichen Tatsachen hin und her zu bewegen, eine Menge der allerinteressantesten Dinge eingeschlossen ist, und daß sie, statt verworfen zu werden, im Gegenteil verdienen, daß sie uns vertraut und bekannt werden.

Teilbarkeit der Materie.

Ich nehme an, wir hätten alle möglichen Eigenschaften eines Körpers, z. B. eines Kupferdrahtes, möglichst sorgfältig beobachtet, d. h. wir hätten alle Beobachtungen, die wir unter dem Begriff dieses Drahtes zusammenfassen, möglichst vollständig angestellt. Es zeigt sich, daß sich die einmal festgestellten Eigenschaften bei einer zweiten Untersuchung, die wir nach längerer Zwischenzeit machen, genau ungeändert wieder zeigen. Wir sagen also, daß diese Materie sich nicht mit der Zeit verändert. Wir wollen den Draht nun mit einer Beißzange in zwei Stücke zerschneiden. Untersuchen wir beide Stücke einzeln genau, so finden wir, daß sie abgesehen von ihrer Länge beide unter sich und mit dem ursprünglichen Draht wieder die gleichen Eigenschaften zeigen. Sie haben dieselbe Farbe, dieselbe Elastizität, dieselbe Biegsamkeit, dieselbe spezifische Trägheit, dasselbe Wärmeleitvermögen, elektrisches Leitvermögen usw. Wir drücken dies durch den Satz aus: Die Materie der Drahtes kann in Teile zerlegt werden, sie ist teilbar. Wir können nun jeden Teil weiter zerlegen und uns immer kleinere Stücke Kupfer herstellen, ohne daß es dabei seine Eigenschaften ändert. Durch Hämmern kann man es schließlich in einem solchen Grade zerteilen, daß 1 cbmm in eine zusammenhängende Metallhaut von etwa 10000 qmm Fläche auseinander geht, es ist das etwa die Fläche der Hand (ohne die Finger). Solche dünnen Blätter stellen die Goldschläger aus Gold und anderen Metallen her. Da nun bei einer mechanischen Zerteilung der Materie, wie empirisch festgestellt ist, das Volumen im ganzen ungeändert bleibt, so hat eine solche Metallhaut die Dicke von $^1/_{10000}$ mm. Nun ändern sich zugleich auch die physikalischen Eigenschaften nicht wesentlich und wir können daher den Schluß ziehen, daß ein Metallwürfelchen von etwa $^1/_{10000}$ mm Kantenlänge noch dieselben Eigenschaften hat, wie ein derbes Stück desselben Metalles. Ich bemerke hier gleich, daß Partikelchen von dieser Größe gerade schon unter der Grenze der Sichtbarkeit in den besten Mikroskopen liegen, d. h. man kann ihre Form schon

nicht mehr sicher erkennen. Man hat aus dieser Tatsache wirklich früher geschlossen, daß die Körper im allgemeinen bis ins Unendliche teilbar sind, d. h. so weit, bis eben die technischen Schwierigkeiten so groß werden, daß man sie derzeit nicht überwinden kann. Man behielt dabei die Aussicht, daß es den späteren Generationen mit besseren Hilfsmitteln gelingen würde, die Teilung der Materie unbegrenzt weiter und weiter fortzusetzen.

Ich werde Ihnen nun zeigen, daß diese Aussicht wirklich nicht vorhanden ist. Wir haben heute technische Hilfsmittel genug und es zeigt sich, daß wir an eine Grenze der Teilbarkeit der Materie kommen. Man stößt durch fortgesetzte Teilung schließlich auf Partikelchen, die einzeln nicht mehr dasselbe Verhalten zeigen, wie die ganze Materie, durch deren Teilung sie entstanden sind. Wir werden die Materie dann vergleichen mit einem Sandsteinfelsen, der als Ganzes ein wesentlich anderes physikalisches Verhalten zeigt, als ein einzelnes der ungeheuer vielen Sandkörner, aus denen er gebildet wird.

Ölhäute.

Am leichtesten gelingt es, aus Flüssigkeiten äußerst feine Häute herzustellen. Bringen wir z. B. einen kleinen Tropfen Olivenöl auf Wasser, so sehen wir, wie er außerordentlich schnell auseinander fährt, eine dünne kreisförmige Haut auf dem Wasser bildet, die wir sehr wohl an ihrem anderen Glanz erkennen, und wie sich diese Haut immer weiter ausbreitet. Plötzlich bei einer bestimmten Größe der Haut, bekommt sie, wie es scheint, überall kreisrunde Löcher mit gefranstem Rande. Die Löcher werden immer größer, schließlich zerfällt die Haut in lauter einzelne Fetzen, die aber immer noch nach außen wandern, dabei zugleich immer kleiner werden und endlich ganz verschwinden. Dieser Versuch gelingt mit allen Ölen, auch z. B. mit Petroleum, jeder kann ihn selber ganz leicht anstellen. Man muß nur dafür sorgen, daß die Wasseroberfläche zuerst absolut fettfrei ist. Ich zeige Ihnen den Versuch, indem ich einen Lichtstrahl von der Wasseroberfläche reflektieren lasse und das Bild der Wasserfläche mit einer Linse auf einen weißen Schirm projiziere. Sobald ich mit einer Nadel, die vorher in Olivenöl getaucht ist, die Oberfläche berühre, sehen Sie den schillernden Glanz, der dünnen Ölschichten eigen ist, darauf zerspringt die Ölhaut

überall in viele Teile mit Zwischenräumen, die scheinbar frei von Öl sind. Wie dick die Ölhaut im Augenblick des Zerreißens ist, hat Sohncke bestimmt, indem er einerseits durch Wägungen ermittelte, welches das ganze aufgebrauchte Ölvolumen war, und andererseits den Radius, und damit die Oberfläche der kreisförmigen Ölscheibe maß in dem Augenblick, wo die ersten runden Löcher sich zeigten. Man darf annehmen, daß die Ölscheibe überall gleichmäßig dick ist, weil überall gleichzeitig Löcher auftreten. Dividiert man ihr Volumen durch ihre Fläche, so bekommt man also die Dicke. Wir brauchen nun für die folgenden Größenangaben sehr kleine Einheiten und ich muß daher zuerst die gebräuchlichen Namen nennen. Man bezeichnet mit $1\ \mu$ (1 Mikron) den tausendsten Teil eines Millimeters. Wenn man also einen in Millimeter geteilten Metermaßstab zusammenschrumpfen läßt bis zur Länge eines Millimeters, dann ist dieser in Mikron geteilt. Wiederum den tausendsten Teil eines Mikrons, also ein milliontel Millimeter (10^{-6} mm) nennen wir ein Millimikron $1\ \mu\mu$ also:

$$1\ \text{mm} = 1000\ \mu = 1000000\ \mu\mu$$
$$1\ \mu = 1000\ \mu\mu.$$

Kleine Körperchen sind unter den allerbesten Mikroskopen ihrer Form und Größe nach noch gerade zu erkennen, wenn ihre Dimensionen mindestens etwa $200\ \mu\mu = 0{,}2\ \mu$ betragen. Werden die Körperchen kleiner, so sieht man sie entweder ganz verwaschen oder überhaupt nicht mehr.

Sohncke machte eine große Zahl von Messungen mit Olivenöl und mit Rüböl. Beide gaben nur wenig voneinander abweichende Werte für die Dicke, bei welcher das Zerreißen eintritt, nämlich rund: $100\ \mu\mu = 0{,}1\ \mu$. Es ist das ungefähr dieselbe Dicke, bis zu der man Gold und andere Metalle aushämmern kann.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß es in der Tat submikroskopische Partikelchen von Materie geben kann, die nach allem, was wir wissen, noch dieselben Eigenschaften zeigen, wie die Materie im großen, daß aber doch bei $0{,}1\ \mu$ eine Dimension erreicht wird, wo sie beginnt, sich anders zu verhalten, wo zunächst die Kräfte, die eine Flüssigkeitsschicht als solche zusammenhalten, ein anderes Verhalten zeigen, als bei dicken Schichten.

Wir wollen uns nun die Ölschicht, nachdem die Feinheit von 0,1 μ überschritten ist, genauer ansehen. Wir haben einzelne Fetzen und dazwischen scheinbar ölfreie Stellen. Ich sage scheinbar ölfrei, denn man kann sich leicht überzeugen, daß in Wirklichkeit zwischen den dickeren Hautfetzen noch ein Zusammenhang besteht in Form einer viel feineren Ölhaut, die sie verbindet. Nimmt man eine genügend große Wasserfläche, so werden die einzelnen dicken Fetzen allmählich immer kleiner und verschwinden schließlich ganz, so daß nichts mehr von dem Öl zu sehen ist. Ich zeige Ihnen das jetzt mit demselben Gefäß, das wir inzwischen wieder mit reinem Wasser gefüllt haben, indem ich einen kleineren Öltropfen auf die Wasserfläche bringe. Während eines Moments zeigt sich das Öl als farbenschillernde Haut, dann ist es scheinbar ganz verschwunden. Trotzdem ist auch jetzt noch die Wasserfläche von einer zusammenhängenden Ölhaut überzogen, das kann man an allen Eigenschaften der Wasserfläche erkennen. Ich will Ihnen als Beispiel nur einen einzigen Versuch zeigen, der von Lord Rayleigh herrührt. Es ist bekannt, daß kleine Kampferstückchen, die man auf eine ganz reine Wasserfläche wirft, zu rotieren beginnen und in unregelmäßigen Bewegungen darauf hin- und herschwimmen. Ich zeige Ihnen diese eigentümliche Erscheinung in unserer Schale, die inzwischen wieder mit reinem Wasser gefüllt ist. Woher diese sonderbaren Bewegungen kommen, ist für das folgende gleichgültig. Wichtig ist uns jetzt nur das eine, daß die Kampferstückchen auf anderen Flüssigkeiten, z. B. auf Öl diese Bewegungen nicht bekommen. Ich bringe nun eine winzige Menge Olivenöl auf das Wasser, Sie können an dem reflektierten Licht jedenfalls keinerlei Änderung sehen, und doch überzieht sich das Wasser mit einer fremden Haut, Sie sehen, wie die Kampferstückchen von ihr schnell auf die Seite geschoben werden, während sie sich ausbreitet. Ich werfe nun neue Kampferstückchen auf das Wasser: sie bleiben in Ruhe, wie Sie sehen, nur die größten machen ganz schwache, lahme Bewegungen. Also auch unter der Dicke 0,1 μ bildet sich noch eine freilich unsichtbare, aber doch zusammenhängende Ölhaut aus, auf der nun die Kampferstückchen ruhen. Andere Versuche machte Röntgen, dem es gelang zu zeigen, daß die Ölhaut bei dieser außerordentlich geringen Dicke doch noch ganz gleichmäßig das Wasser überzieht. Noch andere

Versuche, die die Rayleighschen und Röntgenschen Ergebnisse bestätigten, machte hier in diesem Institut um das Jahr 1893 Oberbeck. Alle drei Forscher orientierten sich auch über die ungefähre Dicke der Ölhaut, mit der sie experimentierten. Oberbeck fand, daß sich, sobald eine Dicke von etwa 20 $\mu\mu$ erreicht ist, sichtbare Fetzen zu bilden beginnen, die nach den Untersuchungen Sohnckes jedenfalls die Dicke 100 $\mu\mu$ haben müssen. 20 $\mu\mu$ ist also die größte Dicke der unsichtbaren Ölhaut, die die sichtbaren Fetzen verbindet. Macht man die Ölhaut immer dünner, so ändert sich zuerst wenig; erst wenn eine Dicke von etwa 2 $\mu\mu$ erreicht ist, scheint ihre Festigkeit sehr nachzulassen. Dann beginnen die Kampferstückchen sich wieder zu bewegen, ein feiner Strahl eines in Wasser löslichen Gases vermag, wie Röntgen zeigte, dann die Haut zu durchlöchern, während er vorher an ihr abprallte. Kurz, die Haut verhält sich nicht mehr, wie ein fest zusammenhängendes Ganze, sie ist bröckelig geworden. Aber immerhin haben Versuche von Röntgen und Oberbeck gelehrt, daß noch eine Haut vorhanden ist. Macht man sie aber dünner und dünner, so wird sie immer weniger bemerkbar. Bei einer Dicke von 0,5 $\mu\mu$ konnte Röntgen nichts mehr von ihr spüren. Oberbeck konnte sie eben noch bis zur Dicke 0,3 $\mu\mu$ verfolgen.

Das Verhalten der Ölhaut, das ich Ihnen nun geschildert habe, beweist, daß der Stoff schließlich bei einer sehr feinen Verteilung seine Eigenschaften ändert. Schon bei der Dicke 100 $\mu\mu$ ist die Ölhaut nicht mehr derselbe Körper, wie be größerer Dicke. Denn wir können sie jetzt nicht mehr, wie vorher, allmählich dünner machen, sondern bei weiterem Ausziehen entsteht auf einmal eine sehr viel dünnere Schicht, nämlich von ca. 20 $\mu\mu$. Diese feine unsichtbare Haut kann man nun wieder allmählich weiter ausziehen, aber sie verliert dabei nach und nach ihren inneren Zusammenhang, bis sie endlich bei 0,3 bis 0,5 $\mu\mu$ Dicke überhaupt nicht mehr als zusammenhängende Haut zu bemerken ist. Aber das Öl ist auch jetzt nicht verschwunden. Denn wenn man noch ein- oder zweimal dieselbe winzige Ölmenge zusetzt, dann tritt die Haut, wie Oberbeck fand, wieder ganz deutlich auf. Wir machen uns deswegen die Vorstellung, daß das Öl sich schließlich in unzusammenhängende Körnchen aufgelöst habe, die frei auf dem Wasser herumschwimmen.

Wellenlehre des Lichtes.

Ich fürchte, daß dieser eine Versuch mit der Ölhaut Ihnen nicht genügen wird für den Beweis einer so schwerwiegenden Behauptung, daß die Materie den Raum nicht homogen erfüllt. In der Tat, wenn dies die einzige Tatsache wäre, die dafür spräche, so würden wir diesen Schluß schwerlich ziehen. Was uns bestimmt, diese Auffassung als richtig zu betrachten, ist, daß alle Versuche, die Materie auf andere Weise zu teilen, immer zu demselben Resultat führen.

Zunächst können wir uns außerordentlich feine Flüssigkeitslamellen auch noch auf andere Weise herstellen. Jedem, der als Kind mit Seifenblasen gespielt hat, ist diese Herstellungsart vertraut. Eine Seifenblase besitzt eine ganz außerordentlich feine Haut, und es wird Ihnen zunächst schwierig erscheinen, ihre Dicke zu messen. Aber die Wissenschaft kennt dafür ein einfaches und zugleich sehr sicheres Mittel: ihre Farbe. Wir müssen uns kurz über diese Farben ein wenig informieren, die jedermann nicht nur an den Seifenblasen, sondern an feinen Schichten jeder Art von Materie kennen wird.



Fig. 1. Newtonsche Ringe.

So zeigen die feinen Ölschichten auf Wasser diese lebhaften Färbungen, oder die feinen Oxydschichten, mit der sich Metalle, wie Kupfer, Eisen, Messing überziehen, wenn man sie kurze Zeit in eine Flamme hält. Am häufigsten kann man sie an den Luftlamellen wahrnehmen, die außerordentlich feine Spaltrisse in durchsichtigen Körpern, z. B. Glas, erfüllen. Ich will Ihnen dies an einem Experiment zeigen, das von Newton herrührt. Auf eine ebene Glasplatte ist eine schwach gewölbte Konvexlinse gelegt. Zwischen beiden ist damit eine solche feine Luftlamelle hergestellt, die sich verengert, je näher man dem Punkte kommt, in dem die Linse auf der Platte aufliegt, wo der Zwischenraum also völlig Null ist. Ich lasse nun von den Glasoberflächen, die diese Luftlamelle begrenzen, Licht reflektieren, Sie sehen den Reflex hier auf dem Schirm (Fig. 1). Sie erblicken um den

Berührungspunkt herum ein System von konzentrischen Kreisen, auf jedem Kreise eine bestimmte Farbe. Sie werden hier schon bemerken: Einer bestimmten Dicke der Luftschicht entspricht immer eine bestimmte Farbe, jeder anderen Dicke stets eine andere Farbe. Man hat untersucht, was die Bedingung dafür sei, daß diese Farben auftreten, und es ist außer allem Zweifel, daß sie sich stets dann, aber auch nur dann zeigen, wenn das Licht an den beiden Grenzflächen der dünnen Lamelle reflektiert wird. Die beiden reflektierten Lichtstrahlen vereinigen sich also nicht, wie es nach der gewöhnlichen Vorstellung sein sollte, zu einem doppelt so starken weißen Strahl, sondern zu einem je nach dem Abstand der beiden Flächen verschieden gefärbten Licht. Man bekommt nun in optischen Dingen stets einfacher zu übersehende Erscheinungen, wenn man anstatt des weißen Lichtes ein sogenanntes gesättigt einfarbiges anwendet. Es ist das ein Licht, in welchem alle Gegenstände, die es trifft, nur in einer einzigen Farbe, der Farbe des Lichtes, erscheinen, ein Licht, das also von der ganzen Mannigfaltigkeit der Körperfarben gar nichts erkennen läßt, sondern nur Abstufungen von hell und dunkel zeigt.

Ich lasse das Licht einer elektrischen Lampe auf einen buntfarbigen Karton fallen, wegen des folgenden ist bei jedem Felde gleich die betreffende Farbe angeschrieben und ich bitte Sie, sich zu überzeugen, daß es richtig geschrieben ist. Sie sehen: rot, gelb, grün, blau. Nun halte ich vor die Lampe ein rotes Glas: die Farben sind in dem Licht verschwunden, wo rot und gelb steht, sehen Sie helle Felder, bei grün und blau dagegen dunkle. Wir haben jetzt ein gesättigt rotes Licht. Ein anderes Glas verwandelt das Licht, wie Sie sehen, in ein gesättigt grünes, ein drittes in ein gesättigt blaues. Ich lasse nun auf unsere Luftlamelle zwischen Linse und Glastafel gesättigt rotes Licht fallen. Wir sehen jetzt helle und dunkle Ringe in großer Zahl um den Berührungspunkt, und zwar mit allmählichen Übergängen zwischen hell und dunkel. Dasselbe sehen wir auch bei jeder anderen gesättigten Lichtart, z. B. grün und blau. Vielleicht bemerken Sie aber, daß die Ringe bei verschieden gefärbten Lichtarten verschieden weit sind. Wenn ich halb mit grünem, halb mit rotem Licht beleuchte, so werden Sie deutlich sehen, daß die grünen Ringe enger stehen, als die roten. Nun ist bekanntlich das gewöhnliche weiße Licht

eine Mischung aller möglichen gesättigten farbigen Lichtarten. Lassen wir also weißes Licht reflektieren, so bekommen wir unendlich viele miteinander konzentrische Ringsysteme, und zwar für jede gesättigte Farbe eine andere Weite der Ringe. Wären alle Ringsysteme gleich weit, so würden alle zusammen ein weiß-grau-schwarzes System geben. Dadurch aber, daß die Ringe für verschiedene Farben gegeneinander verschoben sind, entstehen andere Mischfarben. Es wird z. B. eine Stelle geben, wo für gesättigt rot ein dunkler Ring liegt, für gelb, grün, blau dagegen mehr oder weniger helle. Unserem Auge erscheint dann an dieser Stelle eine grüne Mischfarbe. In dieser Weise erklären sich alle Farben, die bei Beleuchtung mit weißem Licht entstehen, und zwar läßt sich alles mit mathematischer Genauigkeit verfolgen. In etwas größerer Entfernung vom Zentrum haben wir beständig weiß, obwohl man im einfarbigen Licht noch Ringe sieht. Dort überlagern sich nämlich sehr verschiedenartige Farben. Es ist z. B. ein gewisses Blau hell, ein anderes dunkel, ebenso eine gewisse Nuance Grün hell, ein anderes Grün dunkel, ebenso gelb und rot. Eine derartige Mischfarbe erscheint unserem Auge weiß. Das Auge kann den tatsächlichen Wechsel in der Zusammensetzung des Lichtes aus den gesättigten Farben hier in diesen Bereichen nicht mehr erkennen und sieht deswegen ein gleichmäßig weißes Feld.

Wir haben somit die Farben dünner Lamellen im weißen Licht erklärt aus den Erscheinungen in einfarbigem Licht. Das Resultat ist: Zwei Strahlen von einfarbigem Licht, die aus ein und demselben Strahl durch partielle Reflexionen abgesondert sind, addieren sich nicht einfach zu einem Strahl, dessen Intensität die Summe der beiden ursprünglichen Intensitäten ist, sondern sie geben, entsprechend dem Unterschiede des von ihnen zurückgelegten Weges bald einen Strahl, der stärker ist als die beiden einzelnen, bald aber auch einen, dessen Intensität geringer, ja sogar einmal gleich Null ist. Man kann bei der eben gezeigten Versuchsanordnung leicht den Abstand der beiden reflektierenden Flächen an jeder Stelle berechnen. Man muß dazu nur die Entfernung dieser Stelle von dem Berührungspunkte der Linse mit der Glasplatte messen. Kennt man außerdem den Radius der kugelförmigen Linsenfläche, für dessen Bestimmung es mehrere einfache Methoden gibt, so liefert eine kleine geometrische Überlegung die gesuchte Größe. Man hat

durch diese Messungen eine außerordentlich einfache Gesetzmäßigkeit gefunden, nämlich, daß Helligkeit und Dunkelheit immer regelmäßig periodisch wiederkehren bei gleicher Vergrößerung des Abstandes. So fand man:

	dunkel	hell	dunkel	hell	dunkel	hell	dunkel	hell
rot	0	165 $\mu\mu$	330 $\mu\mu$	495 $\mu\mu$	660 $\mu\mu$	825 $\mu\mu$	990 $\mu\mu$	1155 $\mu\mu$
blau	0	115 $\mu\mu$	230 $\mu\mu$	345 $\mu\mu$	460 $\mu\mu$	575 $\mu\mu$	690 $\mu\mu$	805 $\mu\mu$

Man kann dieses Resultat mit anderen Worten auch dadurch wiedergeben, daß man sagt, ein Lichtstrahl stelle nicht einen längs seiner Richtung konstanten Zustand dar, etwa wie ein Strom, mit dem man manchmal das Licht vergleicht, sondern vielmehr variiere der besondere physikalische Vorgang, den man als Licht wahrnimmt, längs des Strahles regelmäßig periodisch. Aus den eben hingeschriebenen Zahlen folgt, daß in einem roten Lichtstrahl nach 660 $\mu\mu$, nach 1320 $\mu\mu$, nach 1980 $\mu\mu$ usw. immer derselbe Vorgang wiederkehrt. Denn, da der an der zweiten Fläche reflektierte Lichtstrahl den Abstand zwischen beiden Flächen hin und zurück durchläuft, so hat er bei 330 $\mu\mu$ Abstand 660 $\mu\mu$ mehr durchlaufen, wie beim Abstand 0, seine Wirkung aber ist dieselbe: Er löscht sich mit dem an der ersten Fläche reflektierten Strahl gegenseitig aus. Zwischen den Stellen gleichen Verhaltens: 0, 660, 1320 usw. liegt in der Mitte, also bei 330, 990, 1650 immer eine Stelle genau entgegengesetzten Verhaltens, denn bei diesen Wegunterschieden verstärkt er den an der ersten Fläche reflektierten Strahl am meisten. Das einfarbige Licht verhält sich in dieser Hinsicht ganz ähnlich, wie ein reiner Ton, von dem es ja seit langer Zeit notorisch ist, daß er aus einer regelmäßig periodischen Wechselfolge von Verdichtungen und Verdünnungen der Luft besteht, die sich mit der Geschwindigkeit 340 m pro sec. von einer Stelle zur andern hin übertragen. Ich will Ihnen denselben Versuch, den wir soeben mit dem Licht angestellt haben, mit einem Ton wiederholen. Ich nehme zwei Stimmgabeln, die, wenn ich sie anstreiche, denselben Ton geben. Nun bewege ich die eine Stimmgabel nach rückwärts, und Sie werden wohl deutlich mehrmals abwechselnd ein Anschwellen und ein Zurückgehen des Tones hören. Bei bestimmten Abständen der beiden Tonquellen verstärken sich also ihre Töne, bei anderen dagegen schwächen sie sich gegenseitig. Wir haben

hier dasselbe in der Zeit hintereinander, was wir bei den optischen Versuchen nebeneinander sahen.

Wir wollen uns diese Erscheinung auch noch durch ein einfaches graphisches Verfahren klar machen. In Fig. 2 ist zunächst ein einzelner Schallstrahl graphisch dargestellt. Der lange Pfeil ist der Strahl selbst, d. h. die Richtung, in welcher die Schallwelle fortschreitet. An jeder Stelle habe ich die Dichtigkeit der Luft für einen bestimmten Moment notiert mit Hilfe eines Punktes, dessen Abstand von dem Pfeil zahlenmäßig gleich dem Dichtigkeitszuwachs der Luft ist. Alle diese Punkte geben zusammen die geschlängelte Kurve auf Fig. 2. Da, wo die Luft komprimiert ist, liegen die Punkte oberhalb des Pfeils (positiver Druck), da, wo sie verdünnt ist, unter ihm (negativer Druck). Um die Schallstrahlung wirklich wiederzugeben, müßte ich nun die geschlängelte Kurve in der Richtung des Pfeiles mit Schallgeschwindigkeit vorrücken lassen. Wenn von zwei verschiedenen Erregern aus Wellen durch den Raum gehen, so gilt ganz allgemein das Gesetz, daß sich die einzelnen Wellen durch die anderen hindurch fortpflanzen, als ob sie überhaupt nicht vorhanden wären. So kann man alle Instrumente eines Orchesters einzeln nebeneinander hören. Die aus allen Einzelwellen resultierende Gesamtwirkung bekommt man, wenn man die Summe der Zustände (also beim Schall der Drucke) bildet, die den einzelnen Wellen zukommen. Ich will das an dem Falle zweier gleichen Wellen erläutern. In Fig. 3 habe ich zwei von verschiedenen Schallquellen kommende Töne graphisch dargestellt und zwar bei drei verschiedenen Abständen der Schallquellen. Wir müssen uns jede Figur als Ganzes mit Schallgeschwindigkeit vorrücken denken. In Fig. 3a decken sich entsprechende Zustände in den beiden Einzelwellen nahezu und es resultiert eine Welle, die nahezu die doppelten maximalen Überdrucke hat wie die Einzelwellen, sowohl positiv, als auch negativ. Ich möchte dabei bemerken, daß die Energie einer Welle immer proportional ist mit der zweiten Potenz des Maximalwertes, den der periodisch wechselnde Zustand annimmt. In dem Falle der Fig. 3a ist also die Energie, die die resul-

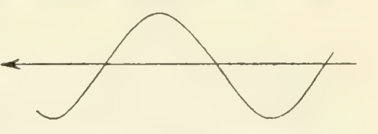


Fig. 2.
Graphische Darstellung eines Schallstrahles.

tierende Welle überträgt (man nennt dies die Intensität der Strahlung), viermal so groß als die einer der beiden Einzelwellen. In Fig. 3b habe ich den Fall gezeichnet, wo die eine Schallquelle etwas zurückgeschoben ist, so daß sich nicht mehr Maximum und Maximum überdecken. Immerhin verstärken sich die beiden Wellen noch gegenseitig. Ich habe die Verschiebung gerade so angenommen, daß die resultierende Intensität das Doppelte einer Einzelintensität ist. Endlich in Fig. 3c habe ich die Verschiebung so groß angenommen, daß sich fast Maximum der Verdichtung einer Welle mit Maximum der Verdünnung der anderen decken. Jetzt löschen sich die Wellen fast gänzlich aus. Würden sich Verdichtung und Verdünnung vollkommen decken, so würde in der Tat gar nichts übrig bleiben.

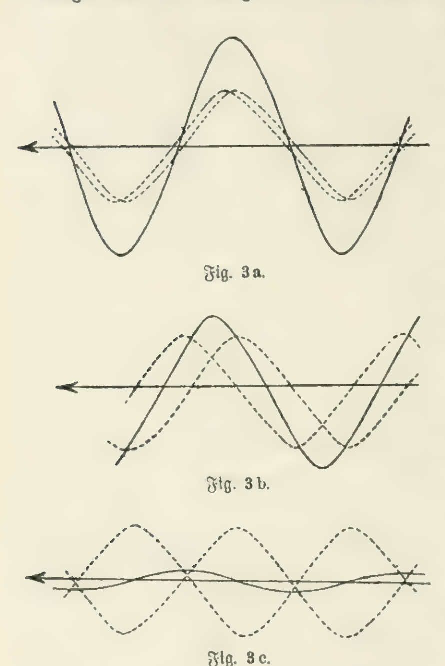


Fig. 3a.

Fig. 3b.

Fig. 3c.

Fig. 3. Graphische Darstellung der Interferenz zweier gleicher Schallstrahlen.
a. Es resultiert ein Strahl von der vierfachen Intensität;
b. es resultiert ein Strahl von der zweifachen Intensität;
c. die beiden Strahlen löschen sich aus.

Ein solches abwechselndes Sichverstärken und Sichschwächen zweier gleichartiger Vorgänge nennt man Interferenz. Wo wir Interferenz bemerken, schließen wir mit unfehlbarer Sicherheit, daß die untersuchten Vorgänge periodische Änderungen einer Zustandsgröße sind. Eine periodische Änderung, die sich im Raume von einer Stelle zur andern überträgt, wird in der Wissenschaft allgemein als Welle bezeichnet. Der Laie wird bei diesem Wort allzusehr an das Auf- und Abwogen des bewegten Wassers erinnert und findet

es nun manchmal sonderbar, daß der geradlinige Lichtstrahl eine Welle sein solle. Man kann sogar gelegentlich in Zeitungsartikeln lesen, daß sich nach unseren heutigen Vorstellungen das Licht nicht geradlinig, sondern in Wellenlinien fortpflanze. Die richtige Wellentheorie des Lichtes will, wie Sie bemerkt haben werden, in keiner Weise der alltäglichen Erfahrung von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes widersprechen.

Den Abstand zweier Stellen im Lichtstrahl, wo sich derselbe Vorgang gerade wiederholt, nennen wir eine Wellenlänge. Also die Wellenlänge des roten Lichtes ist ca. 660 $\mu\mu$, die des blauen ca. 440 $\mu\mu$. Die verschiedenen reinen Farben unterscheiden sich durch nichts anderes als durch die Wellenlängen, und zwar nimmt die Wellenlänge von rot über gelb, grün, blau, bis violett immer weiter ab. Die des äußersten Violett ist schließlich etwa halb so groß, wie die von rot.

Ich bitte Sie zu beachten, was für äußerst kleine Längen diese Wellenlängen sind. So groß wie sie ungefähr sind, wie ich schon früher erwähnte, die Dimensionen derjenigen Körper, die man eben noch mit den besten Mikroskopen sehen kann. Ganz anders ist es beim Schall, den Abstand der beiden Stimmgabeln mußte ich um einige Meter ändern, damit Sie die Interferenzen hörten. In der Tat variieren die Wellenlängen der reinen Töne vom tiefsten bis zum höchsten von etwa 10 Meter bis zu einigen Zentimetern.

Die Wellenlänge einer Lichtart ist in verschiedenen Medien etwas verschieden. Füllen wir z. B. den Zwischenraum zwischen Linse und Glasplatte bei dem Newtonschen Experiment mit Wasser, so ziehen sich die Ringe etwas zusammen. Das liegt daran, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sich mit dem Medium ändert. Ist sie kleiner, so werden die Wellen etwas zusammengeschoben, die Wellenlänge ist kleiner. Die Optik lehrt, daß das umgekehrte Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in zwei verschiedenen Medien, also auch das der beiden Wellenlängen, die ein und dieselbe gesättigte Farbe in ihnen zeigt, zugleich der Berechnungsexponent beim Übergang eines Lichtstrahles von dem einen Medium in das andere ist. So ist z. B. die Wellenlänge in Wasser nur ca. $^3/_4$ von der in Luft, die in gewöhnlichem Glas nur $^2/_3$. Die Brechungsexponenten von Wasser und von Glas gegen Luft sind 1,33 und 1,5. Wir haben also:

	Luft	Wasser	Glas
rot	660 $\mu\mu$	495 $\mu\mu$	440 $\mu\mu$
blau	460 $\mu\mu$	345 $\mu\mu$	307 $\mu\mu$

Wasserhäute.

Sie sehen nun leicht ein, wie man aus der Farbe einer dünnen Schicht, wenn man einmal die Dicke der Luftschicht kennt, bei der sie ebenfalls auftritt, mit Hilfe des Brechungsexponenten ihre Dicke berechnen kann. Die Dicke der betreffenden Luftschicht kann man ja aber durch das Newtonsche Experiment, das ich Ihnen eben zeigte, bestimmen.

Ich stelle nun an Stelle des ringförmigen Luftkeils mit den Newtonschen Ringen eine Lamelle einer dünnen Seifenlösung in einem Drahtrechteck in den Lichtstrahl der elektrischen Lampe. Auf dieser Lamelle bildet sich sofort ein System horizontaler farbiger Streifen aus, und zwar sieht man aus den Farben der Streifen, die nach oben hin immer prachtvoller werden, sofort, daß die Lamelle sich nach oben hin keilförmig zuspitzt. Es ist das eine ganz natürliche Wirkung der Schwerkraft, welche bewirkt, daß die Flüssigkeit, aus der die Lamelle besteht, nach unten läuft. Aus diesem Grunde bekommen wir eine für einige Zeit dauernde Lamelle auch nur, wenn wir das Wasser durch Zusatz von Seife so zähflüssig machen, daß es der Wirkung der Schwere nicht mit zu großer Geschwindigkeit folgt, wodurch die Lamelle sofort reißen würde. Ich habe die Seifenlösung aber immerhin sehr dünn genommen und Sie sehen daher, wie die Streifen sehr rasch herunter wandern und sich gleichzeitig verbreitern, wie sich der Keil also schnell immer mehr zuschärft. Dem letzten farbigen Streifen entsprechen etwa die folgenden Dicken.

	Luft	Wasser
Tiefblau	300 $\mu\mu$	225 $\mu\mu$
Purpur	280 $\mu\mu$	210 $\mu\mu$
Braun	220 $\mu\mu$	165 $\mu\mu$
Weiß	128 $\mu\mu$	96 $\mu\mu$
Graublau	80 $\mu\mu$	60 $\mu\mu$.

Nun bekommt die glänzende Haut auf einmal an ihrer dünnsten Stelle runde schwarze Flecken, die aussehen wie runde Löcher. Diese Löcher vergrößern sich und vereinigen sich miteinander, so

daß es schließlich so aussieht, als ob zwischen der Seifenwasser=lamelle und dem oberen Draht ihrer Begrenzung ein leerer Zwischenraum entstanden wäre. Die Erscheinung ist dieselbe wie bei der Ölhaut auf Wasser, als sie scheinbar Löcher bekam. Gerade so wie da, wird hier die glänzende Flüssigkeitslamelle durch ein unsichtbares Stück unterbrochen. Und offenbar hat dieses unsichtbare Stück eine kleinere Festigkeit, als die dickere Haut, denn bald, nachdem es aufgetreten ist, platzt die La=melle. Sehr leicht können Sie das Auftreten des schwarzen Fleckes, der schon von Newton beobachtet ist, sehen, wenn Sie beim Händewaschen einmal eine Seifenlamelle in dem Viereck, das Sie aus den beiden Zeigefingern und den beiden Daumen bilden können, hervorbringen. Sie werden bald in dieser Lamelle einen oder mehrere kreisrunde schwarze Flecken mit gefranstem Rande auftreten sehen, und wenn diese Flecken etwas groß ge=worden sind, wird die Lamelle platzen. An dem schwarzen Flecken einer Seifenlamelle haben Reinold und Rücker Messungen an=gestellt, indem sie die Lamelle dadurch haltbarer und konstanter machten, daß sie sie in einem geschlossenen Gefäß entstehen ließen, in welchem die Luft mit Wasserdampf gesättigt war. In dem Ge=fäß war eine Stange verschiebbar angebracht, die zwei Gold=nadeln nahe beieinander trug. Die Goldnadeln waren vonein=ander elektrisch isoliert und jede durch einen Kupferdraht mit einer Klemmschraube verbunden. Legte man nun die Gold=nadeln an irgend einen Teil der Lamelle, so konnte man den elektrischen Leitungswiderstand des Stückes zwischen den Gold=nadeln messen. Es zeigte sich, wie zu erwarten war, daß der Leitungswiderstand umgekehrt proportional der Dicke der Lamelle war. Sie untersuchten so auch den schwarzen Fleck und fanden hier den Leitungswiderstand beträchtlich höher, als im sichtbaren Teil der Lamelle.

Berechneten sie nun die Dicke der von ihnen untersuchten unsichtbaren Lamelle unter der Voraussetzung, daß auch hier noch Widerstand und Dicke proportional sind, so fanden sie rund 10 $\mu\mu$, während der dünnste Teil der sichtbaren Lamelle rund etwa 50 $\mu\mu$ Dicke hatte. Ähnliche Resultate fanden sie auch durch eine besonders ausgedachte optische Methode. Wir haben hier also ganz dieselben Verhältnisse wie bei der Ölschicht auf Wasser, einen plötzlichen Übergang aus der haltbaren sicht=baren Haut in die weniger haltbare unsichtbare.

	dünnste sichtbare Haut	dickste unsichtbare
Öl auf Wasser	100 $\mu\mu$	20 $\mu\mu$
Lamelle von Seifenwasser	50 $\mu\mu$	10 $\mu\mu$

Nun handelt es sich aber noch darum zu untersuchen, bis wie weit die dünne unsichtbare Haut noch ein wenigstens einigermaßen zusammenhängendes Ganze bildet. Das scheint auf den ersten Blick ganz unmöglich zu sein, da ja die Haut bei der geringen Festigkeit im schwarzen Fleck so schnell zerreißt. Wir verdanken Lord Kelvin einen außerordentlich geistreichen Gedanken, doch wenigstens der Größenordnung nach die Dicke zu finden, bei welcher der Zusammenhang aufhört. Lord Kelvin setzt dabei natürlich voraus, daß der Zusammenhang wirklich, wie bei der Ölschicht, einmal aufhören muß, und daß dann aus dem Wasser ein anderer Körper entsteht, der sich vom Wasser nur dadurch unterscheidet, daß seine kleinsten Teilchen sich unabhängig voneinander bewegen können, also gerade so, wie sich von dem festen Sandstein der Flugsand, den der Wind auf den Dünen mit sich führt, unterscheidet. Einen solchen Körper kennen wir aber jedenfalls schon: Es ist der Wasserdampf. Wenn wir an einem Kolben ziehen, der einen vollkommen mit Wasser gefüllten Zylinder verschließt, und zwar mit einer so großen Kraft, daß die zusammenhängende Wassermasse an einer Stelle zerreißt, dann füllt sich die Lücke mit einem vollkommen klaren, farblosen Gase: dem Wasserdampf. Stoßen wir den Kolben zurück, so entsteht aus dem Wasserdampf wieder zusammenhängendes Wasser. Um nun die Teilchen des Wassers aus ihrem Zusammenhang voneinander zu reißen zu dem unzusammenhängenden Dampf, dazu müssen wir eine bestimmte Menge Energie aufwenden. Nun sagt aber der erste Hauptsatz der Physik, der sog. Energiesatz, aus, daß bei gegebenem Anfangszustand (Wasser von Zimmertemperatur) und gegebenem Endzustand (Dampf von Zimmertemperatur) die zuführende Energiemenge stets dieselbe ist, auf welchem Wege ich auch die Veränderung herbeiführen mag. Der gewöhnliche Weg, Wasser in Dampf zu verwandeln, ist der, daß man Energie in Form von Wärme zuführt. Man braucht zur Verwandlung von 1 kg Wasser in Dampf bei Atmosphärendruck, also bei 100° C, 536 Kalorien. Eine Kalorie ist diejenige Energiemenge, die, als Wärme zugeführt, gerade 1 kg Wasser um 1° C erwärmt.

In unserm Falle werden die 536 Kalorien nicht verwendet, um das Wasser noch heißer zu machen, sondern um es in Dampf von gleicher Temperatur überzuführen. Man kann aber das Wasser auch in Dampf verwandeln, indem man die Energie als Arbeitsleistung zuführt. Ich zeige Ihnen das mit einem kleinen Elektromotor, auf dessen Achse ein Messingrohr aufgesteckt ist, das ich mit Wasser fülle und mit einem Kork möglichst gut verschließe. Lasse ich den Elektromotor frei laufen, so leistet er keine Arbeit. Nun aber klemme ich das Messingrohr zwischen die beiden Backen einer Holzzange und suche es in seiner rotierenden Bewegung aufzuhalten. Der Motor hat freilich Kraft genug, um diesen Widerstand zu überwinden, aber er muß dabei eine tüchtige Arbeit leisten. Sie werden nun schon bemerken, wie neben dem Kork, wo er nicht ganz dicht schließt, kleine Nebelwölkchen hervorkommen. Ich bringe das Wasser also wirklich zum Kochen, ohne Flamme oder Glut, bloß durch die Arbeit des Motors, welche als Reibungshitze zur Geltung kommt. Schließlich wird der Dampfdruck im Messingrohr so stark, daß der Kork mit einem kleinen Knall weit hinauf geschleudert wird, ein Nebelwölkchen geht hinterher. Würden wir messen, wieviel Arbeit wir aufwenden müßten, um 1 kg Wasser bei Atmosphärendruck, also bei 100° C, in Dampf zu verwandeln, so würden wir finden: 228500 kgm. Ein Kilogrammeter ist diejenige Energiemenge, die man aufwenden muß, um ein Kilogrammstück um einen Meter in die Höhe zu heben. Sie sehen: Die Energie 228500 kgm ist dieselbe wie 536 Kalorien; oder es ist eine Kalorie = 427 kgm. Das ist eine Zahl, die in der Tat durch eine große Menge der verschiedenartigsten Messungen immer wieder gefunden worden ist. Wir wollen es noch einmal sagen: Um durch eine Arbeitsleistung (Reibungswärme) 1 kg Wasser um 1° C zu erwärmen, müssen wir dieselbe Energiemenge aufwenden, als wenn wir 427 kg (ca. 8½ Zentner) um einen Meter heben wollten.

Wenn wir Wasser bei Zimmertemperatur in Dampf übergehen lassen (verdunsten lassen), etwa, indem wir die Dampfschicht über dem Wasser durch einen frischen Wind wegblasen und so immer wieder die Verdunstung anregen, dann müssen wir auch Energie zuführen, sonst wird das Wasser nach und nach immer kälter. Diese Verdunstungskälte ist ja jedem wohlbekannt. Es zeigt sich, daß die Energie, die bei Zimmer=

temperatur verbraucht wird, sogar etwas größer ist, als bei 100°, nämlich etwa 570 Kalorien. Nun kommt der Schluß, den Lord Kelvin gezogen hat: Wir könnten Wasser bei Zimmertemperatur auch durch eine Arbeit in Dampf verwandeln, wenn wir aus ihm eine ganz gleichmäßige feine Lamelle machten und diese immer weiter und weiter auszögen, bis die Teilchen ganz ihren Zusammenhang verlören. Das kann man nun freilich im großen nicht ausführen, aber im kleinen geschieht es jedenfalls jedesmal, wenn eine Wasserblase zerplatzt, nämlich in dem schwarzen Fleck, der immer dem Zerplatzen vorhergeht. Im kleinen müssen aber dieselben Gesetze gelten, wie im großen. Ja, muß man denn Arbeit aufwenden, um die Lamelle auszuziehen, und kann man diese Arbeit berechnen? Jeder, der einmal Seifenblasen gemacht hat, wird wissen, daß man einen kleinen Luftdruck anwenden muß, um die Blase nicht nur hervorzubringen, sondern auch zu erhalten, denn sobald man die Öffnung der Pfeife frei gibt, beginnt die Blase sich zusammenzuziehen, wie eine von den Gummiblasen, die als Kinderspielzeug auf den Jahrmärkten verkauft werden. Die Haut der Seifenblase ist also elastisch gespannt, wie eine Gummihaut. Ich zeige Ihnen das hier, indem ich eine Seifenblase auf einen Schirm projiziere, die mit einem kleinen Druckmesser, einem U-Rohr, das Petroleum enthält, verbunden ist. Ich blase durch einen kleinen Kautschukschlauch. Gebe ich nun die Öffnung frei, so sehen Sie, wie die Blase zusammenschrumpft. Halte ich die Öffnung zu, so bleibt die Blase stehen, aber nun zeigt das Steigen des Petroleums im offenen Schenkel des U-Rohrs an, daß sich im Innern durch ein geringes Zusammenschrumpfen der Blase ein kleiner Überdruck ausgebildet hat. Dieser Überdruck verhindert das weitere Schrumpfen. Durch Messungen ist festgestellt, daß die Spannung einer Flüssigkeitshaut nicht von ihrer Dicke abhängt. Ich will mit einer Wage wirklich einmal die Messung der Spannung ausführen. Auf der einen Seite der Wage hängt ein Drahtbügel, dessen beide Enden in eine dicke Seifenlösung eintauchen. Ich habe den Drahtbügel vorher mehrmals in das Seifenwasser getaucht, so daß er ganz von Wasser überzogen ist, und darauf tariert. Sie sehen, daß der Zeiger der Wage um den Nullpunkt schwingt. Nun bringe ich zwischen Drahtbügel und Lösung eine Lamelle hervor, dadurch, daß ich ihn erst eintauche und dann langsam heraus-

ziehe. Gebe ich jetzt den Wagebalken frei, so wird die Seite, an welcher sich die Lamelle befindet, heruntergezogen. Die Lamelle verhält sich wie ein elastisches gespanntes Band zwischen Lösung und Drahtbügel. Daß das Gewicht der Lamelle gar nicht in Betracht kommt, kann man durch eine leichte Rechnung sehen, es ist nämlich nur einige Milligramm, und würde an dieser Wage noch keinen merkbaren Ausschlag hervorrufen. Wir wollen nun auf die andere Seite Gewichte legen: bei 0,6 g tritt Gleichgewicht ein. Das ist also die Spannkraft der Lamelle. Da ferner ihre Breite 100 mm beträgt, so ist die Spannkraft für jeden Streifen von 1 mm Breite gleich 6 mg. Hätten wir keine so dickflüssige Lösung genommen, als ich hier bei meinem Demonstrationsversuch wegen der größeren Zähigkeit verwende, so hätten wir einen höheren Wert der Spannung gefunden. Reines Wasser, mit dem man die Messung auch ausführen kann, gibt 15 bis 16 mg/mm. Wir wollen uns nun einen Würfel Wasser von 1 mm Kantenlänge (also 1 mg) in einen Apparat gebracht denken, in welchem man ihn zu einer ganz gleichmäßigen Lamelle ausziehen kann. Alle Unregelmäßigkeiten und Störungen seien ausgeschlossen. Wir wollen den Würfel zunächst zu einer Lamelle von der Länge 1 dm ausziehen. Wir müssen dabei längs dieser Strecke (0,1 m) mit der Kraft 16 Millionstel kg ziehen. Wir leisten also die Arbeit 1,6 Millionstel kgm. Diese Lamelle wollen wir ferner auf 1 dm verbreitern. Dann wird die ganze Arbeitsleistung 160 Millionstel kgm. Das Milligramm ist nun in eine Lamelle von 100 $\mu\mu$ Dicke ausgezogen. Denken wir uns ein ganzes Kilo Wasser in Lamellen von 100 $\mu\mu$ Dicke umgewandelt, so ist die dazu nötige Arbeit millionenmal so groß, also 160 kgm = 0,4 Kalorien. Das ist aber noch nicht alles, denn wie Lord Kelvin gezeigt hat, findet beim Ausziehen noch eine ganz kleine Abkühlung statt, so daß man etwas Energie durch Erwärmung zuführen muß, wenn man die Temperatur konstant halten will. Die Energiezufuhr durch Erwärmen ist ungefähr 43 % der Arbeitsleistung, die wir eben berechneten. Also, um 1 l Wasser in die Form von Lamellen von 100 $\mu\mu$ Dicke zu bringen: 0,17 Kalorien. Die ganze Energiezufuhr ist demnach: 0,57 Kalorien. Das ist offenbar noch gar nichts gegen die Energiemenge, die zur Verdampfung verbraucht wird. Um weiter gehen zu können, nehmen wir an, daß auch La-

mellen von der Dicke der schwarzen Flecken noch dieselbe elastische Spannung haben, wie die dicken Lamellen. Diese Annahme ist jedenfalls einigermaßen zutreffend, da wir ja den schwarzen Flecken längere Zeit beobachten können, während sich seine Spannung mit der der dicken Lamelle das Gleichgewicht hält. Allerdings, wenn er weiter ausgezogen wird, wird offenbar seine Spannung kleiner, denn dann erweitert er sich schnell, bis ein wirkliches Loch entsteht, und die Blase, wie man sagt, zerplatzt. Jedenfalls rechnen wir aber mit der gemachten Annahme, als mit einer ersten Annäherung. Wir haben, wenn 1 kg Wasser überführt wird

in Lamellen von:	die Energiezufuhr nötig:
100 $\mu\mu$	0,57 Kalorien
10 $\mu\mu$	5,7 "
1 $\mu\mu$	57 "
0,1 $\mu\mu$	570 "

Bei der Dünne von 0,1 $\mu\mu$ ist der Wert erreicht, der nötig ist, um den Zusammenhang der Wasserteilchen gänzlich zu lösen, nämlich die Verdampfungsenergie. In Lamellen von nahezu 0,1 $\mu\mu$ Dicke muß also nach und nach die Spannung sinken, bis sie so gut wie Null wird. Denn 570 ist das Maximum der Energie, die beim Auseinanderziehen von 1 kg Wasser überhaupt aufgewendet werden kann.

Wir erhalten somit bei Wasserlamellen ungefähr den Wert 0,1 $\mu\mu$, wo wir für Öllamellen 0,3 bis 0,5 $\mu\mu$ gefunden hatten. Bemerkenswert ist dabei, daß die Wege, die zu diesen Resultaten führten, von Grund aus verschieden sind.

Metallhäute auf Platin.

In neuerer Zeit verstehen wir es, nicht nur von Flüssigkeiten, sondern auch von Metallen äußerst feine Schichten herzustellen, viel feiner als die von den Goldschlägern mechanisch gewonnenen. So kann man durch einen elektrischen Strom außerordentlich kleine Mengen eines Metalls auf der negativen Elektrode in gleichmäßiger Verteilung niederschlagen. Oberbeck hat Versuche angestellt mit einem Platinblech, das auf diese Weise mit einer sehr feinen Haut eines anderen Metalls überzogen war. Er stellte das überzogene Platinblech einem anderen,

ganz reinen, gegenüber in eine Metallsalzlösung und maß die elektrische Spannung zwischen beiden. War die Metallhaut einige $\mu\mu$ dick, so gab sie dieselbe Spannung, wie ein massives Stück aus demselben Metall. War sie viel dünner als 1 $\mu\mu$, so gab sie überhaupt kaum eine Spannung, wie wenn das von ihr überzogene Platinblech überall durchschaute. Dazwischen fand ein sehr rascher Übergang statt bei folgenden Werten der Dicke:

Zink: 2,5 $\mu\mu$; Kadmium: 1,7 $\mu\mu$; Kupfer: 0,7 $\mu\mu$.

Von diesem Grad der Feinheit an beginnt also die Metallhaut sozusagen löcherig zu werden; ähnliches haben wir oben bei der Ölhaut gesehen.

Metallhäute auf Glas.

Noch interessantere Messungen wird man vermutlich mit sehr feinen Metallüberzügen auf Glas machen können. In einer hochevakuierten Geißlerschen Röhre, wie man sie z. B. als Röntgenlampe benutzt, verdampft oder „zerstäubt" beim Hindurchgehen der elektrischen Entladungen stets von der Kathode etwas Metall und destilliert auf das Glas über. Ähnliches wird Ihnen vielleicht schon bekannt sein von den elektrischen Glühlampen, in denen der auf sehr hohe Temperatur gebrachte Kohlenfaden verdampft: Die Glasbirne wird im Laufe der Zeit ganz schwarz. Hier zeige ich Ihnen eine alte Röntgenlampe, in der Sie den Metallbeschlag auf der Glaswandung sehen werden. Er ist so dünn, daß Licht hindurchgeht, obwohl er, abgesehen von den dünnsten Stellen, das Licht wie ein richtiger Metallspiegel reflektiert. Das Metall scheint das Glas als zusammenhängende Haut zu überziehen. Schneidet man an einer Stelle, die gleichmäßig von einer verhältnismäßig dicken Schicht des Metalls bekleidet ist, einen Streifen heraus und bestimmt den elektrischen Widerstand, so findet man denselben Wert, der sich ergeben würde an einem Draht von demselben Querschnitt, wie der Streifen, und von derselben Länge. Ferner zeigt sich, daß dieser Widerstand, wie es bei allen Metallen ist, beim Erwärmen stark zunimmt. Ich will Ihnen die Widerstandszunahme beim Erwärmen an einem gewöhnlichen Eisendraht zeigen. Ich verbinde ihn durch ein Amperemeter hindurch mit den Klemmschrauben eines

Akkumulators. Der Akkumulator hat 2 Volt Spannung, die Stromstärke lesen wir am Amperemeter ab, sie ist 1,4 Ampere. Der Widerstand des Drahtes ist demnach: 1,4 Ohm. Nun erhitze ich ihn mit einem Bunsenbrenner. Das Amperemeter geht zurück, auf 0,7 Ampere und weniger, der Widerstand ist auf 2,8 Ohm oder noch mehr gestiegen, mindestens das Doppelte seines ersten Wertes. Kühle ich den Draht wieder ab durch aufgespritztes Wasser, so steigt die Stromstärke bald wieder auf ihren anfänglichen Wert. Ebenso verhalten sich Glasstreifen mit genügend dicken Metallspiegeln. Dagegen haben Streifen mit äußerst dünner Metallbelegung ganz andere Eigenschaften. Erstens ist ihr Widerstand größer als der eines gleich langen Drahtes, dessen Querschnitt gleich Breite mal Dicke der Metallhaut ist. Zweitens zeigt sich beim Erwärmen kein Zunehmen, manchmal sogar ein Abnehmen des Widerstandes. Wir sehen hier ganz besonders deutlich: Materie in äußerst feiner Verteilung ist nicht mehr gleichbeschaffen mit größeren Stücken. In diesem letzten Fall sind bisher noch keine Messungen ausgeführt, doch darf man wohl erwarten, daß die Grenzwerte der Dicke, für die die Änderung im Verhalten der Materie eintritt, wie immer in der Gegend von 1 $\mu\mu$ liegen werden.

---

2. Die Molekulartheorie.

Alle Versuche, die Materie immer weiter zu teilen, führen zu dem Resultat, daß man schließlich an eine Grenze kommt, von wo an die Teile nicht mehr gleichbeschaffen sind mit dem Ganzen. Wir schließen daraus logisch, daß die Materie eine körnige Struktur hat. Die Körnchen, aus denen sie sich aufbaut, nennen wir Moleküle.

Zunächst wissen wir von den Molekülen noch herzlich wenig, nämlich nur, daß ihre physikalischen Eigenschaften andere sein müssen, als die der aus ihrer Summe gebildeten Materie. Da wir ein einzelnes Molekül niemals zur Hand haben, wie etwa ein einzelnes Sandkorn, so können wir seine Eigenschaften nicht direkt erforschen. Nun muß aber doch die Beschaffenheit der Materie bestimmt sein durch zwei Faktoren, nämlich erstens die

Art, wie sie sich aus den Molekülen aufbaut, d. h. ihre Struktur, und zweitens die Beschaffenheit der einzelnen Moleküle. Das Studium der Materie, als ganzes, gibt uns daher Aufschlüsse über ihre Struktur und über die Eigenschaften der Moleküle. Allerdings sind Schlüsse, die man aus den Erfahrungen an der zusammengesetzten Materie auf ihre Bausteine ziehen will, natürlich sehr schwierig. Es scheint, daß im allgemeinen das einzig mögliche Schlußverfahren das ist, gewissermaßen auf dem umgekehrten Wege zunächst den Molekülen hypothetisch solche Eigenschaften beizulegen, die den gemachten Beobachtungen zu entsprechen scheinen, und nun daraus die Eigenschaften der ganzen Materie vorher zu berechnen. Stimmt die Berechnung mit der Beobachtung überein, so beruhigen wir uns vorläufig und nehmen an, daß die hypothetisch vorausgesetzten Eigenschaften in der Tat im goßen Ganzen der Wirklichkeit entsprechen. Wir benutzen sie nun zu weiteren Schlüssen und werden auf diese Weise zu immer weitergehenden Forschungen angeregt, die mindestens den Nutzen haben, daß unsere Kenntnis von der Materie sehr bereichert wird. Finden wir aber Abweichungen, so suchen wir die vorausgesetzten Eigenschaften in der Weise zu korrigieren, daß die Übereinstimmung wieder genau wird. Auf diesem Wege gewinnen wir Einsicht in die Eigenschaften der Moleküle durch eine Art Näherungsverfahren und dürfen hoffen, daß wir schließlich zu einer genau richtigen Erkenntnis kommen. Einige Grundannahmen der Molekulartheorie gibt es schon jetzt, von denen wohl nicht zu bezweifeln ist, daß sie jedenfalls sehr nahezu wahr sind.

Trägheit und Gewicht der Moleküle.

Zwei Größen gibt es, die bei jedem Körper eine merkwürdige Konstanz zeigen: das Gewicht, d. h. die Kraft, mit welcher die Erde den Körper anzieht, und die Trägheit, d. h. der Widerstand, den der Körper einer Bewegung oder genauer einer Änderung seines vorhandenen Bewegungszustandes entgegenstellt. Beide Größen sind, wie die Erfahrung lehrt, miteinander proportional; kennt man also die eine, so kann man ohne weiteres die andere berechnen. Teilt man den Körper in beliebig viel Stücke, so ist die Summe der Gewichte (ebenso der Trägheiten) der einzelnen Stücke immer gleich dem Gewicht

des ganzen Stückes. Umgekehrt: vereinigt man mehrere Körper zu einem einzigen, z. B. durch Zusammenschmelzen, so hat der neue Körper ein Gewicht, das gleich der Summe der Gewichte der vereinigten Stücke ist. Man kann den Körper zum feinsten Staub zerpulvern, ja sogar z. B. durch Verdampfen in seine Moleküle zerteilen, stets bleibt dieses einfache Gesetz bei Bestand.

Daraus folgt, daß den Molekülen Trägheit und Gewicht in derselben Weise zukommt, wie dem ganzen Körper, und daß die Trägheit des ganzen Körpers einfach die Summe derjenigen seiner Moleküle ist.

Chemische und physikalische Änderungen.

Bei allen Veränderungen, die ein Körper erfährt, gibt es zwei Möglichkeiten:

Entweder die Trägheit jedes einzelnen Moleküls bleibt dauernd konstant. Dann ist auch ihre Zahl konstant, und die Änderungen des Körpers sind der Hauptsache nach Folgen von veränderten Anordnungen der Moleküle. Oder die Trägheiten der einzelnen Moleküle ändern sich. Werden die Trägheiten kleiner, so muß sich die Zahl vermehren, gerade so, als ob jedes Molekül weiter in Teile zerfällt; werden ihre Trägheiten dagegen größer, so muß ihre Zahl kleiner werden, gerade so, als ob mehrere Moleküle sich zu je einem größeren zusammenballen. Im allgemeinsten Falle werden diese beiden Arten von Veränderung: Zerfall und Verbindung kombiniert auftreten.

Ob der Vorgang, den man studiert, zur ersten oder zur zweiten Gruppe gehört, darüber entscheidet man bisher oft nicht nach streng begründeten Methoden. Aber unsere Urteile sind im allgemeinen durch so viele Gründe, die sich gegenseitig stützen, befestigt, daß man selten an ihrer Wahrheit zweifeln möchte. Man nennt die Vorgänge der zuerst genannten Art physikalische Vorgänge, die der zweiten Art chemische.

Molekularkräfte.

Zu den physikalischen Vorgängen rechnen wir unter anderem die elastischen Deformationen, z. B. Kompression und Ausdehnung eines Körpers. Als ein Beispiel wollen wir an Wasser denken in einem Zylinder, der dicht mit einem verschiebbaren Kolben

verschlossen ist. Bei beiden Deformationen haben wir beträchtliche Widerstände zu überwinden. Wir schließen daraus erstens, daß die Moleküle miteinander durch Anziehungskräfte verkittet sind, welche einem Auseinanderziehen widerstehen — es sind dies die sog. Kohäsionskräfte —, zweitens aber, daß die Moleküle gegenseitig undurchdringlich und elastisch sind und infolgedessen, wenn man sie näher zusammenpressen will, dem Druck widerstehen, etwa wie ein Haufen Gummibälle. Im ganzen müssen wir das Verhalten der Moleküle also folgendermaßen beschreiben:

Sind zwei Moleküle in verhältnismäßig größerer Entfernung voneinander, so tritt eine Kraftwirkung auf, die sie einander näher zu treiben sucht, kommen sie sehr nahe aneinander, so wirkt eine Kraft, die sie voneinander zu entfernen sucht. Bei einer mittleren Stellung muß natürlich die Kraft Null sein.

Man hat allgemein noch hypothetisch hinzugefügt, daß die abstoßende Kraft von der Nullstelle an außerordentlich rasch auf kolossal hohe Werte steigt, wenn die Moleküle nur ganz wenig gegeneinander bewegt werden. Man hat sie sich direkt unter dem Bilde von Billardkugeln gedacht, zwischen denen eine anziehende Fernewirkung besteht. Es werden nämlich bei äußerst kleinen Deformationen der aufeinander prallenden Elfenbeinkugeln die elastischen Kräfte, die sie auseinander treiben, schon außerordentlich hoch.

Die Annahme über die rasche Veränderlichkeit der abstoßenden Kräfte, die die Undurchdringbarkeit der Moleküle hervorbringen, hat sich ausgezeichnet bewährt. Dagegen ist die Vorstellung, daß die Moleküle sich wie einfache Bälle verhalten, nur eine sehr rohe Annäherung an die wirklichen Verhältnisse. Genauere Berechnungen haben sicher gezeigt, daß ihr Verhalten meistens komplizierter ist.

Chemisch einheitliche Körper.

Die Chemie lehrt uns zu unterscheiden zwischen den einheitlichen Körpern, die als ein Ganzes die physikalischen und chemischen Veränderungen erleiden, und den Gemischen, die schon bei manchen einfachen Vorgängen von selbst in mehrere Teile zerfallen, die verschiedenes Verhalten zeigen. Ein einfaches Bei-

spiel ist eine Salzlösung, über der sich beim Erhitzen der Dampf des reinen Wassers bildet, während das Salz in der Flüssigkeit bleibt, aus der sich andererseits beim Abkühlen, wenn sie nicht sehr verdünnt ist, das reine Salz abscheidet, oder, wenn sie dazu zu verdünnt ist, beim Gefrierpunkt das Eis von reinem Wasser.



Fig. 4. Smaragd (mit einer sechsfachen Symmetrieachse).

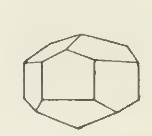


Fig. 5. Kalkspat (mit einer dreifachen Symmetrieachse).

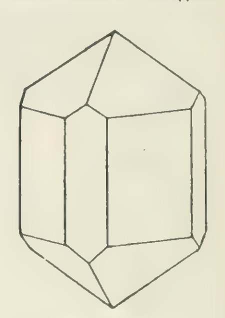


Fig. 6. Zinnerz (mit einer vierfachen Symmetrieachse).

Die meisten in der Natur vorkommenden Körper sind Gemische. Ein Körper, der sehr einheitlich aussieht, der sich aber bei genauerer Untersuchung als ein Gemisch ausweist, ist das Glas. Nimmt ein chemisch einheitlicher Körper den festen Aggregatzustand an,

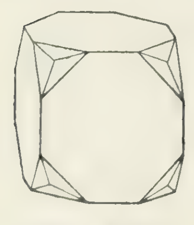


Fig. 7. Flußspat (mit drei vierfachen Symmetrieachsen).

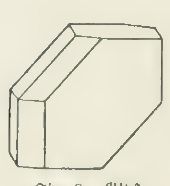


Fig. 8. Gips (mit einer zweifachen Achse).

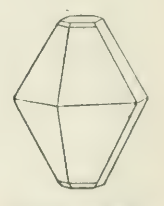


Fig. 9. Schwefel (mit drei zweifachen Achsen).

so gibt er, wenn seine Verfestigung nicht zu schnell erfolgt, fast ausnahmslos Kristalle. Selbst die scheinbar amorphen Metalle sind, wie man bei genauerer Untersuchung sieht, aus lauter kleinen Kristallen gebildet, die regellos miteinander verwoben sind. Die meisten natürlichen Gesteine sind ebenso aus Kristallen

zusammengesetzt. Für die verhältnismäßig viel seltneren nicht kristallisierten Körper gibt das Glas das beste Beispiel. Ich kann hier auf die vielen höchst interessanten Eigenheiten der Kristalle nicht eingehen. Nur das eine muß ich hervorheben, daß bei den Kristallen gewisse Fälle von Symmetrie immer und immer wiederkehren. So gibt es Kristalle, die eine sechsfache Symmetrieachse haben, z. B. Smaragd (Fig. 4), andere, wie Kalkspat (Fig. 5) und Bergkristall mit einer dreifachen Symmetrieachse, wieder andere, z. B. das wichtige Zinnerz (Fig. 6), mit einer vierfachen, oder wie Flußspat (Fig. 7) mit drei aufeinander senkrecht stehenden vierfachen Symmetrieachsen; viele Kristalle haben, wie der Gips (Fig. 8), eine, oder wie der Schwefel (Fig. 9), drei zweifache Achsen; schließlich gibt es auch manche Kristalle, z. B. die des Kupfervitriols (Fig. 10), die überhaupt keine Symmetrieachsen haben. Trotz aller Mannigfaltigkeit sehen wir ganz bestimmte Regeln vorgeschrieben. Es gibt keinen einzigen Kristall mit einer fünffachen oder gar mit einer siebenfachen, einer acht- oder neunfachen Symmetrieachse, und wir sind sicher, daß wir niemals diese Symmetriearten finden werden. Diese sehr bemerkenswerte Gesetzmäßigkeit hat ihren Grund zweifellos in der molekularen Struktur der festen Körper. Denkt man sich nämlich ein Gebilde aufgebaut aus lauter genau gleichen Elementarkörpern, die durch Kräfte zusammengehalten werden, die jeder auf die umgebenden nach ein und derselben Gesetzmäßigkeit ausübt, dann bekommt man als mögliche Symmetriearten dieser Gebilde gerade alle die bei den Kristallen bekannten und keine einzige andere.

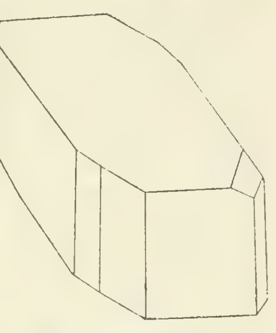


Fig. 10. Kupfervitriol (ohne Symmetrieachsen).

Da nun alle chemisch einheitlichen Körper kristallisieren, so schließen wir, daß sie aus lauter physikalisch miteinander identischen Molekülen aufgebaut sind.

Theorie der Gase.

Bekanntlich gibt es drei verschiedene Aggregatzustände der Materie: fest, flüssig, gasförmig. Das haben wir nun so zu

verstehen: Fest ist ein Körper, wenn die Moleküle durch die Kohäsionskräfte so eng miteinander verkittet sind, daß sie vielleicht noch etwas vibrieren können, aber nicht mehr sich untereinander verschieben und zwischeneinander hindurch schlüpfen, so wie die Körner des Sandsteins. Flüssig ist ein Körper, wenn die Moleküle noch genug Beweglichkeit haben, wie etwa die Körner eines Sandhaufens, wenn sie aber doch gleichzeitig noch durch die Kohäsion so zusammenhängen, daß der Körper stets eine scharf begrenzende Oberfläche hat. Ein Gas endlich ist ein Körper, dessen Moleküle weit voneinander entfernt durcheinander fliegen, etwa wie die Körner in einer Staubwolke, so daß alle Kohäsionswirkung aufgehört hat.

Die Gase sind dem theoretischen Studium am leichtesten zugänglich, weil wir hier die Moleküle gewissermaßen wirklich einzeln vor uns haben. Und mit ihnen wollen wir uns deshalb besonders beschäftigen.

Wie ist es möglich, daß die Moleküle nicht stets durch die Kohäsionskräfte so nahe zusammengepreßt werden, wie im festen Körper? Widerspricht nicht die Existenz der Gase ohne weiteres der einfachen mechanischen Vorstellung, die wir uns von dem Bau der Materie gemacht haben? Sicher, wenn die Moleküle in Ruhe wären. Aber sie sind es nicht.

Ich habe einen Zylinder mit einem braunen Gase gefüllt und durch eine darauf gelegte Glasplatte verschlossen. Das Gas ist Brom. Ich stelle darauf einen mit Luft gefüllten Zylinder, die Öffnung nach unten, und entferne dann die Glasplatte, die bisher Brom und Luft trennte. Wir brauchen nicht lange zu warten, um zu sehen, daß der Gasinhalt des oberen Zylinders sich nach und nach braun färbt, und daß die braune Farbe unten etwas verblaßt. Es entsteht kein neuer Körper. Man kann sich durch mancherlei Methoden überzeugen, daß wir oben und unten nur eine Mischung von Luft und Brom bekommen, aus der wir beide Bestandteile immer leicht wieder gewissermaßen aussieben können. Das Brom ist also nach oben gewandert in die Luft hinein, und umgekehrt die Luft nach unten in das Brom hinein, obwohl Brom ganz beträchtlich schwerer ist als Luft. Ganz ebenso würden auch die Gasteilchen wandern, wenn wir statt des Broms irgend ein anderes Gas nehmen. Wir müssen daraus schließen, daß die Wanderung auch dann stattfindet, wenn wir oben und unten

dasselbe Gas, z. B. Luft, haben, obwohl wir dann die Wanderung nicht mehr direkt nachweisen können. Dabei ist, während die Mischung sich vor Ihren Augen bildet, in dem Gase selbst nicht die geringste Bewegung zu konstatieren. Ich könnte allerlei feine leichte Körperchen hineinbringen, die der geringste Lufthauch bewegen müßte. Es würde sich nichts zeigen. Wir schließen hieraus, daß in einem Gase, wenn es auch scheinbar in Ruhe ist, doch die Moleküle sich unregelmäßig lebhaft hin und her bewegen und zum Teil sogar in wenigen Sekunden trotz des regellosen Zickzackweges ganz deutlich sichtbare Strecken zurücklegen.

Jetzt ist unser Bild von dem Gase schon ziemlich vollständig geworden. Wir haben eine ungeheure Menge kleiner Körperchen, die eine ähnliche Beschaffenheit haben, wie winzige elastische Billardbälle, die mit großen Geschwindigkeiten ganz unregelmäßig durcheinander sausen, häufig aneinander treffen und dabei dann so heftig voneinander abprallen, daß die zwischen ihnen bestehenden Anziehungskräfte gar nicht zur Wirkung kommen können. Wir können bei unseren Rechnungen deswegen häufig von diesen Anziehungskräften ganz absehen. Ein solcher Körper müßte sofort in alle Winde zerfliegen, wenn keine festen Wände ihn daran hinderten. Und das ist ja auch die allererste Wahrnehmung, die Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, und nach ihm unzählige Beobachter gemacht haben, daß ein Gas, wenn es in ein fast leeres Gefäß gebracht wird, sich so gut wie momentan in dem ganzen verfügbaren Raum ausbreitet. Die Wände des Gefäßes halten nun das Gas zusammen, indem fortwährend Moleküle dagegen fliegen und durch die elastischen Kräfte der Moleküle der Wand in den Raum zurückgeworfen werden. Diese unaufhörlichen Stöße der Moleküle summieren sich im ganzen zu einer Druckkraft, die die Wände des Gefäßes nach außen zu treiben sucht. Gerade so drückt ein Wasserstrahl, der kontinuierlich gegen einen Gegenstand gerichtet ist, auf ihn. Um diese Druckkraft auszuhalten, müssen entweder die Wände des Gefäßes sehr fest sein, oder es muß auf der anderen Seite der Wand ein Gas vorhanden sein, das denselben Druck ausübt und so dem ersten das Gleichgewicht hält. Die Versuche mit der Luftpumpe, die wohl jedem bekannt sind, führen die Gewalt der Druckkräfte am besten vor die Augen.

Ich will Ihnen noch einen derartigen Versuch zeigen. Wir wollen aus einem halbkugelförmigen, kräftigen Messinggefäß mit abgeschliffenem Rande, das durch eine aufgekittete Glasplatte von 2 mm Dicke luftdicht verschlossen ist, mit einer Luftpumpe, die durch eine kleine Öffnung mit dem Innenraum des Messinggefäßes kommuniziert, die Luft aussaugen. Wir schaffen also von der einen Seite der Glasplatte die Luftmoleküle weg, während sie von der anderen Seite in unverminderter Stärke von den Molekülen der Atmosphäre bombardiert wird. Nach kurzer Zeit sind aus dem Gefäß so viel Moleküle entfernt, daß sie das einseitige Bombardement nicht mehr aushalten kann: Sie wird unter lautem Knall gewaltsam in tausend kleine Splitter zersprengt.

Es ist nun gar nicht schwer, die Größe des Druckes p der bombardierenden Moleküle zu berechnen. Er ist erstens proportional mit der Zahl der Moleküle, die im Lauf einer Sekunde auf jedes Quadratzentimeter der Wand auftreffen. Diese Zahl wiederum ist um so größer, je größer die Zahl N der Moleküle pro Kubikzentimeter ist, und je geschwinder sie sich bewegen. Ist die durchschnittliche Geschwindigkeit eines Moleküls v, so ist also der erste Faktor von $p : N \cdot v$. Zweitens ist der Druck proportional mit der durchschnittlichen Stoßkraft, mit der ein Molekül die Wand trifft. Aber diese ist mit $m \cdot v$ proportional, wenn m die Trägheit eines Moleküls und v die durchschnittliche Geschwindigkeit ist. Folglich ist der Druck p abgesehen von einem Zahlenfaktor gegeben durch $N \cdot m \cdot v^2$. Eine genauere Rechnung ergibt, daß dieser Zahlenfaktor den Wert $\frac{1}{3}$ hat. Also:

$$p = \frac{1}{3} N \cdot m \cdot v^2.$$

Ferner liefert die mathematische Untersuchung das Resultat, daß, wenn verschiedene Arten von Molekülen vorhanden sind mit verschiedenen Trägheiten: $m_1, m_2 \ldots$, daß dann die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der einzelnen Molekülgattungen verschieden sein müssen: $v_1, v_2 \ldots$, und zwar so, daß:

$$m_1 \cdot v_1^2 = m_2 \cdot v_2^2 = \ldots$$

Solange diese Bedingung nicht durch die ganze Gasmasse hindurch erfüllt ist, d. h. solange nicht an allen Stellen der durchschnittliche Wert von mv^2 der gleiche ist, findet ein allmählicher Ausgleich der durchschnittlichen Geschwindigkeit statt.

An Stellen, wo mv^2 größer ist, als in der Umgebung, treffen die Moleküle so viel kräftiger auf die Moleküle der Umgebung auf, daß sie allmählich ihren Überfluß an Geschwindigkeit abgeben, umgekehrt verhalten sich die Moleküle an Stellen von zu kleinem mv^2. Schließlich tritt also das Geschwindigkeitsgleichgewicht ein, bei dem der Durchschnittswert von mv^2 überall gleich ist.

Wir sehen hier die durchschnittliche Geschwindigkeit (genauer: $m \cdot v^2$) eine ganz ähnliche Rolle spielen, als sonst die Temperatur eines Körpers. Denn wenn die Temperatur nicht durch den ganzen Körper hindurch gleich ist, so findet ganz von selbst ein allmählicher Temperaturausgleich statt. Nun ist klar, daß das Verhalten eines Körpers sich ändern muß, wenn sich die durchschnittliche Geschwindigkeit seiner unregelmäßigen Molekularbewegung ändert. Mit anderen Worten: jeder Grad dieser Bewegung stellt einen besonderen Zustand des Körpers vor, der sich in einer irgendwie wahrnehmbaren Weise äußern muß. Nun kennen wir aber nichts anderes, was einen sich von selbst ausgleichenden Zustand der Materie angibt, als die Temperatur. Man ist deswegen zu der Überzeugung gekommen, daß der Grad der inneren Molekularbewegung von uns als Grad der Temperatur wahrgenommen wird, und zwar ist in zwei Körpern Temperaturgleichheit vorhanden, wenn $m_1 \cdot v_1^2 = m_2 \cdot v_2^2$.

Wir nehmen also an, daß das Verhalten eines Körpers vollständig beschrieben wird, wenn das mechanische Verhalten seiner Moleküle angegeben wird, d. h. ihre Lage, ihre Kraftwirkungen und Geschwindigkeiten. Die Temperatur ist nur eine Eigenschaft des ganzen Körpers. Kalte, warme, glühende Moleküle gibt es nicht.

Dies ist die Grundannahme der Molekulartheorie. Sie wurde eingeführt durch Clausius, den Begründer der Theorie, und von Maxwell und Boltzmann, die das Werk fortsetzten, beibehalten. Sie hat durch alle weiteren Untersuchungen stets die glänzendsten Bestätigungen erfahren. Vor allem hat sich gezeigt, daß die Energie, die nötig ist, um die Temperatur eines Gases um 1 ° C zu erhöhen, die sog. spezifische Wärme, übereinstimmt mit der Energie, die sich nach der Theorie für die entsprechende Vermehrung der unregelmäßigen Bewegung der Moleküle berechnet.

Der erste Erfolg der Theorie ist der oben hingeschriebene Wert für den Druck des Gases. Wir können aus dieser Gleichung drei wichtige Sätze herauslesen, die ganz der Erfahrung entsprechen und schon vor der Entwicklung der Theorie längst bekannt waren:

Erstens: Wenn die Temperatur eines Gases konstant bleibt (mv^2 konstant), so ist der Druck der Gasdichte (d. h. der Zahl N) proportional. Mariottesches Gesetz.

Zweitens: Wenn die Gasdichte (d. h. N) konstant gehalten wird, so ist der Druck der Temperatur (mv^2) proportional. Es ist dies das Gay-Lussacsche Gesetz. Dabei haben wir die Temperatur vom sog. absoluten Nullpunkt*) (-273^0) an gerechnet. (Also Schmelzpunkt des Eises 273^0 absol., Siedepunkt des Wassers 373^0 absol.) Es ergibt sich für den absoluten Nullpunkt der Temperatur die einfache Deutung, daß er den Zustand darstellt, wenn die Moleküle durchaus in Ruhe verharren ($v = 0$).

Drittens: Zwei verschiedene Gase enthalten bei demselben Druck ($p_1 = p_2$) und derselben Temperatur ($m_1 v_1^2 = m_2 v_2^2$), dieselbe Zahl (N) von Molekülen im Kubikzentimeter. Oder: bei gleichem Druck und Temperatur verhalten sich die spezifischen Gewichte zweier Gase, wie die (aus der Chemie bekannten) Molekulargewichte. Avogadrosches Gesetz.

Eine interessante Folgerung gestattet unsere Druckgleichung auch noch zu ziehen auf die durchschnittlichen Werte der Geschwindigkeiten der unregelmäßigen Molekularbewegungen. Da nämlich $N \cdot m = \varrho$ das ganze Gewicht von einem Kubikzentimeter, d. h. das spezifische Gewicht des Gases ist, so kann man berechnen $v = \sqrt{3 \cdot \frac{p}{\varrho}}$. So ergibt sich bei 0^0 C die Geschwindigkeit von

Wasserstoffgas	1844	m/sec.
Sauerstoff	461	m/sec.
Stickstoff	492	m/sec.

*) Es ist das die Grenze, unter welche die Temperatur unter gar keinen Umständen heruntergehen kann.

Es sind das Geschwindigkeiten von derselben Größenordnung etwa wie die Geschwindigkeiten der Geschosse aus unseren modernen Geschützen mit dem scharfen Pulver. Sie machen uns die gewaltigen Wirkungen des Luftdrucks, wie wir z. B. vorhin eine gesehen haben, verständlich.

Die mittlere Weglänge.

Trotz dieser enormen Geschwindigkeiten fliegen indessen die Moleküle nicht weit. Sie müssen ganz ungeheuer zahlreich sein und deswegen so nahe beieinander, daß jedes Molekül schon

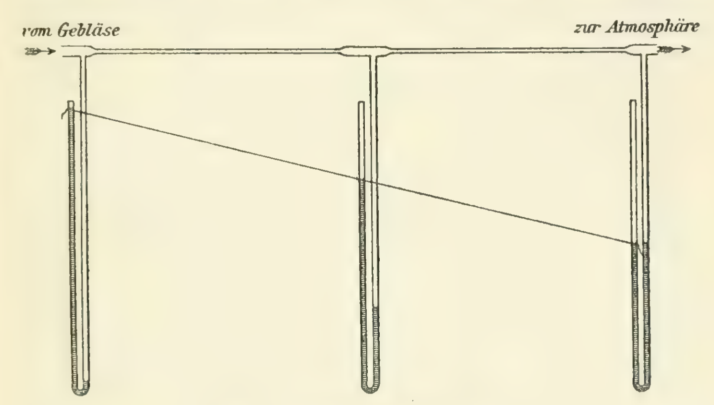


Fig. 11. Innere Reibung der Luft.

nach einer sehr kurzen Strecke auf ein anderes stößt und in eine andere Bahn abgelenkt wird. Wir erkennen das schon an dem verhältnismäßig langsamen Fortschreiten der Diffusion. Natürlich muß das physikalische Verhalten eines Gases ganz wesentlich dadurch mit bestimmt sein, wie weit ein Teilchen im allgemeinen fliegt, bis es auf ein anderes stößt. Wir nennen diese Strecke, im Durchschnitt gerechnet, die mittlere Weglänge der Moleküle. Hauptsächlich drei Eigenschaften der Gase sind es, die von dieser mittleren Weglänge abhängen. Erstens: Die Diffusionsgeschwindigkeit, die natürlich um so größer ist, je größer die Weglänge. Zweitens: Die Wärmeleitung. Man kann zwei Raumteile eines Gases von verschiedener Temperatur gewissermaßen als zwei verschiedene Gase auffassen, die in ein=

einander diffundieren, das warme in das kalte und umgekehrt. Drittens: Die innere Reibung der Gase. Wenn nämlich eine Gasschicht an einer anderen hinstreicht, so sind beide durch die Moleküle, die durch die Gleitfläche diffundieren, miteinander sozusagen verzahnt. Die seitlich übergehenden Moleküle übertragen den Bewegungszustand von der rascher fortschreitenden Schicht auf die langsamere und die umgekehrt gehenden Moleküle hemmen die raschere Schicht etwas. Die unregelmäßige Bewegung der Moleküle sucht also die ungleichmäßige Strömung auszugleichen. Dabei wird dann ein großer Teil der Strömungsgeschwindigkeit in unregelmäßige Bewegung umgesetzt oder, wie man sagt, Bewegungsenergie wird durch Reibung in Wärme verwandelt. Wir wollen mit Hilfe eines Gebläses Luft durch ein sehr enges Rohr (Kapillare) hindurchtreiben (Fig. 11). Die ruhende Glaswand, die auch aus Molekülen besteht, die mit den Luftmolekülen in Wechselwirkung stehen, sucht die Moleküle festzuhalten, und man kann experimentell beweisen, daß ihre Wirkung so stark ist, daß die benachbarte Luftschicht wirklich in Ruhe bleibt. Diese erste Luftschicht sucht die inneren Schichten infolgedessen zu hemmen, und man muß einen Druck anwenden, um die Strömung überhaupt in Gang zu halten. Man kann diesen Druck an den Wassermanometern ablesen, die ich an den beiden Enden und in der Mitte der Kapillare angebracht habe. Wo die Röhre in der Luft endigt, haben wir keinen Überdruck, in der Mitte zeigt sich der halbe Überdruck wie am Anfang. Man sieht es daran, daß sich die Flüssigkeit hier gerade bis zu einem schwarzen Faden einstellt, der von der Kuppe des ersten zu der des dritten Manometers straff gespannt ist. Also die Reibungswiderstände in den beiden Hälften der Röhre sind gleich. Ehe ich Ihnen mehr daran zeige, will ich schnell die theoretisch gefundenen Resultate besprechen.

Diffusion, Wärmeleitung, Reibung hängen alle drei, außer von der Dichtigkeit und der Temperatur des Gases, nur von der Weglänge der Moleküle ab. Die genaue Berechnung muß zwischen diesen drei so ganz verschiedenartigen Eigenschaften einfache Zahlenbeziehungen liefern, deren Bestätigung durch das Experiment ein wertvoller Beweis für die Richtigkeit der Theorie sein würde. Leider ist die Berechnung aber so schwierig, daß man sie bisher nur unter der vereinfachenden Annahme durchgeführt hat, daß die Moleküle sich wie Billardkugeln verhalten, statt

ihnen die komplizierteren Eigenschaften beizulegen, die sie haben. Das Resultat ist dann aber auch gerade so, wie man es erwarten mußte: Die theoretisch berechneten Beziehungen stimmen ungefähr, aber die Abweichungen sind doch sehr deutlich zu bemerken. Man kann deshalb aus den drei erwähnten Konstanten noch nicht mit aller Sicherheit den durchschnittlichen Wert der Weglänge berechnen, sie liefern auch nicht alle drei dieselben Werte, ja es kann die Weglänge, nach den drei verschiedenen Methoden, ungefähr um 20 oder 30 % verschieden herauskommen. Aber der Größenordnung nach können wir die Weglängen doch sicher angeben. Ich werde Ihnen gleich einige Resultate mitteilen.

Am interessantesten und sonderbarsten ist das, was die Theorie über die Reibung der Gase vorausgesagt hat. Maxwell hat da nämlich den Satz aufgestellt, daß die Reibung bei konstanter Temperatur für ein und dasselbe Gas stets die gleiche ist, welchen Grad von Dichtigkeit es auch habe.

Ich habe unter einer Luftpumpenglocke eine leichte, kreisförmige Glimmerscheibe in ihrem Zentrum an einem feinen Faden aufgehängt, so daß sie horizontal schwebt und leicht um ihre Achse schwingen kann. Um sie von außen in Bewegung setzen zu können, habe ich in ihrer Mitte eine kleine magnetisierte Nähnadel aufgeklebt; nähere ich also außen einen Magnetstab, so kann ich sie damit drehen, soweit ich will. Die Bewegungen der Scheibe können wir an einem kleinen Papierzeiger, der ihr aufgeklebt ist, leicht verfolgen. Ich drehe sie nun um 180° herum, so daß der Papierzeiger gerade auf der entgegengesetzten Seite steht, wie in der natürlichen Ruhelage. Nun lasse ich los, indem ich den Magnetstab schnell weit entferne, die Scheibe beginnt alsbald langsam hin und her zu schwingen. Aber die Schwingungen werden bald kleiner und kleiner, sie sind sehr gedämpft. Es kommt das daher, daß dicht unter der schwingenden Glimmerscheibe, nur etwa 1 mm von ihr entfernt, ein ebenes Messingtischchen steht. Die Reibung in der dünnen Luftschicht zwischen der Messingplatte und dem Glimmerscheibchen verzehrt nach und nach die Bewegung. Zählen wir die Schwingungen, so finden wir, daß die Glimmerscheibe fast völlig zur Ruhe gekommen ist, nachdem sie sich 12 mal hin und her bewegt hat. So ist es, wenn der Raum unter der Luftpumpenglocke mit gewöhnlicher Luft von Atmosphärendruck er=

füllt ist. Nun wollen wir evakuieren. Wenn wir auch die Luft nicht völlig herausschaffen können, so können wir doch wenigstens auf weiter als $^1/_{100}$ verdünnen. Man sollte nun denken, in dieser stark verdünnten Luft wäre die Reibung äußerst klein. Wiederholen wir den Versuch aber jetzt, so sehen wir, daß die Schwingungen genau ebenso gedämpft sind, wie in der dicken Luft. Nach 12 Schwingungen steht auch jetzt wieder die Scheibe still. Als Maxwell diese höchst eigentümliche Tatsache zuerst aus seiner Theorie geschlossen hatte, hielt er sie kaum für

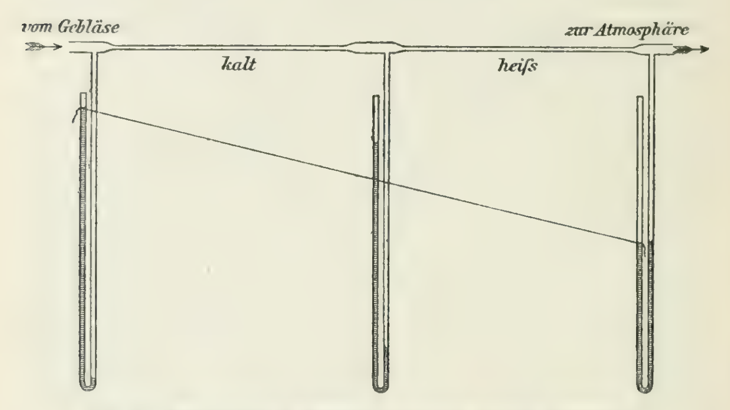


Fig. 12. Abhängigkeit der Reibung in der Luft von der Temperatur.

möglich und er ruhte nicht, bis er sie experimentell nachgeprüft hatte. Aber er fand sie, gerade wie wir soeben, wirklich richtig.

Ich möchte Ihnen noch eine andere merkwürdige Folgerung der Theorie experimentell bestätigen, nämlich die Abhängigkeit der Reibung von der Temperatur. Während Flüssigkeiten bekanntlich mit wachsender Temperatur ohne Ausnahme sehr viel leichtflüssiger werden, wie wohl jeder aus Erfahrung weiß, ist es bei Gasen gerade umgekehrt. Maxwell folgerte aus der Theorie, daß bei ihnen die innere Reibung wachsen müsse und zwar ungefähr proportional mit der Quadratwurzel aus der absoluten Temperatur. Das haben wiederum die Messungen ziemlich bestätigt, allerdings steigt die Reibung noch ein wenig rascher, als die vereinfachte Theorie es angibt. Wenn ich durch das Kapillarrohr des schon früher benutzten Apparates (S. 39) Luft strömen

lasse und nun die eine Hälfte erhitze, so sehen Sie, daß in ziemlich kurzer Zeit die Flüssigkeitssäulen der drei Manometer nicht mehr an der durch den schwarzen Faden markierten geraden Linie endigen, sondern daß sie eine geknickte Linie bilden (Fig. 12). Die Druckdifferenz, die die Luft durch den erhitzten Röhrenabschnitt treibt, ist viel größer als die am kalt gehaltenen Abschnitt. Der Reibungswiderstand in dem erhitzten Rohr ist also tatsächlich größer als im kalten.

Zu diesem Resultat trägt allerdings außer der Vergrößerung des Reibungskoeffizienten auch noch eine Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit bei. Denn weil die Luft in dem erhitzten Rohr dünner ist, als im kalten und die Strommenge doch in beiden gleich sein muß, so hat sie im heißen Rohr eine größere Geschwindigkeit.

Man hat für eine große Reihe von Gasen die Reibung gemessen und daraus die mittlere Weglänge der Moleküle angenähert berechnet. Sie ist bei 20° C und 760 mm Druck in:

Sauerstoff	105,9 $\mu\mu$
Stickstoff	98,6 $\mu\mu$
Kohlensäure	68,0 $\mu\mu$
Chlor	47,4 $\mu\mu$
Wasserstoff	185,5 $\mu\mu$.

Diese Größen sind submikroskopisch klein, aber doch gegen die molekularen Dimensionen, die jedenfalls unter 1 $\mu\mu$ liegen, sehr groß.

Größe und Zahl der Moleküle.

Aus diesen Zahlen kann man Schlüsse auf die Größe der Moleküle ziehen. Offenbar ist nämlich die Weglänge um so kleiner, je größer der Querschnitt eines Moleküls ist, und es lehrt dementsprechend die Theorie, daß man aus der Weglänge die Summe der Querschnitte aller Moleküle in einem Kubikzentimeter finden kann, d. h. die Größe $N \cdot q$, wo N die Zahl der Moleküle, q der Querschnitt eines Moleküls ist. Andererseits kann man aber auch die Summe aller Volumina $N \cdot V$ ungefähr finden. Wenn nämlich das Gas durch genügende Kälte in den flüssigen oder in den festen Aggregatzustand gebracht wird, was man heutzutage bekanntlich für alle Gase ausführen kann, so rücken sie erfahrungsgemäß so nahe zusammen,

daß eine weitere Verdichtung des Stoffes nur noch in ganz geringem Maße möglich ist. Nimmt man an, daß die Moleküle ungefähr kugelförmig sind, so bleiben bei dichter Aufeinanderschichtung noch Lücken, die im ganzen ungefähr dasselbe Volumen darstellen, wie das von den Molekülen eingenommene. Das Volumen der Flüssigkeit, in welche sich ein Gasquantum von 1 ccm zusammenzieht, ist also ungefähr $2\,N \cdot V$. Aus dem Quotienten der so gefundenen Werte $N \cdot V$ und $N \cdot q$ können wir, unter der Voraussetzung, daß die Moleküle kugelförmig sind, die Größe eines Moleküldurchmessers berechnen. Für Luft ergibt sich ungefähr 0,4 $\mu\mu$, ähnlich auch für andere Körper. Es ist das ein Wert ganz ähnlich denen, die wir bei Flüssigkeitslamellen für die Schichtendicke fanden, bei denen der Zusammenhang der Teilchen eben aufhört. Man kann nun aus dem Durchmesser auch den Querschnitt und das Volumen eines Moleküls berechnen und darauf natürlich auch N, die Zahl der Moleküle für 1 cbcm in einem Gase von 0° C und 760 mm Druck. Diese Zahl N nennen wir zum Andenken eines Mannes, der sich große Verdienste um die Auswertung der Molekulardimensionen erworben hat, und der speziell auch diese Zahl zuerst berechnet hat, die Loschmidtsche Zahl. Die eben geschilderte Berechnungsmethode liefert, wenn man die bestverbürgten Zahlen nimmt, ungefähr: $N = 20 \cdot 10^{18}$ (20 Trillionen).

Es kann vielleicht auch die Hälfte sein oder vielleicht doppelt so viel. Das ändert aber an der Hauptsache: der Größenordnung dieser fast unbegreiflich hohen Zahl wenig. Dabei ist das Verhältnis des Volumens, das die Moleküle einnehmen, zu dem Ganzen des Gases, also $N \cdot V$ für Luft ungefähr $\frac{1}{1400}$. Ein Kubikmeter Luft gibt also ungefähr anderthalb Liter flüssige Luft. Für andere Gase findet man ganz ähnliche Werte.

Pumpen wir aus einem Glasgefäß die Luft so gut wie möglich aus, wie es z. B. für Röntgenröhren nötig ist, so ist doch das äußerste, was wir vielleicht erreichen können, ein Druck von etwa $\frac{1}{1000}$ mm Quecksilber, sagen wir rund: der millionste Teil von dem Druck der atmosphärischen Luft. Es sind dann, da p und N proportional sind, doch noch $20 \cdot 10^{12}$ (20 Billionen) Moleküle in jedem Kubikzentimeter. Aber das von ihnen eingenommene Volumen ist wegen ihrer Kleinheit doch schon ganz verschwindend gegen den Raum, in dem sie sich bewegen. Es ist daher trotz der großen Zahl von Molekülen nicht ganz un=

gerechtfertigt, wenn man jetzt von einem leeren Raum spricht. Wenn man nämlich 1 cbm dieses Gases durch Abkühlung flüssig machen wollte, so würde man nur 1 cbmm bekommen. Die Bahn ist für die Moleküle bei dieser hohen Verdünnung soweit frei, daß die Weglänge schon mehrere Zentimeter beträgt, wirklich ein unendlich langer Weg für ein so kleines Molekül.

Nehmen wir die Zahl $N = 20 \cdot 10^{18}$ an, so können wir auch leicht berechnen, wie viel Moleküle 1 ccm Wasser enthält, denn man weiß ja, welches Volumen diese Wassermenge im gasförmigen Zustand (als Dampf) erfüllen würde. Man findet: $25000 \cdot 10^{18}$. Wenn wir also 1 ccm Wasser in soviel kleine Würfel zerteilten, so wäre in jedem Würfel gerade ein Molekül enthalten. Ein jeder derartiger Würfel hätte eine Kantenlänge von ca. 0,3 $\mu\mu$.

Die kleinste Dicke, bei der eine Flüssigkeitsschicht gerade noch ein einigermaßen zusammenhängendes Ganzes ist, ist demnach die Dicke einer einzigen Lage von Molekülen.

Um über die Größe der Moleküle ein wenig mehr Anschauung zu gewinnen, wollen wir uns einen kleinen Apfel denken. Zu der Größe dieses Apfels steht ein Wassermolekül ungefähr im gleichen Verhältnis wie der Apfel zur Erdkugel. Denken wir uns den Apfel so vergrößert, daß er eine Erdkugel darstellt, dann wird jedes einzelne Molekül bis zur Größe des ursprünglichen Apfels angeschwollen sein.

Die Brownsche Molekularbewegung.

Wenn in Wasser ein feiner Staub, beispielsweise Kreideschlamm oder Lehm, suspendiert ist, so senkt sich dieser Schlamm auch bei völliger Ruhe nur sehr langsam zu Boden. Je kleiner die Teilchen sind, um so langsamer geht die Abscheidung vor sich, weil das Verhältnis des Reibungswiderstandes im Wasser zu dem Gewicht eines Teilchens um so größer ist, je kleiner das Teilchen. Sehr feine Suspensionen, wie Milch oder Seifenlösung bleiben immer trübe, so lange man sie auch stehen lassen mag, weil das Sinken der Teilchen hier schon äußerst langsam vor sich geht. Auch die sog. kolloidalen Metallösungen sind schöne Beispiele für solche sehr feinen Suspensionen. Wenn man einer sehr verdünnten Lösung eines Gold- oder Silbersalzes ein sehr schwaches Reduktionsmittel zusetzt, so scheidet sich das Edelmetall in äußerst feinen Teilchen aus, die so klein sind, daß

man sie mit einem gewöhnlichen Mikroskop nicht sehen kann. Die feinen Metallteilchen erfüllen das Wasser ziemlich dicht und erteilen ihm schöne intensive Färbungen. Eine derartige Suspension nennt man eine kolloidale Metallösung. Daß es wirklich viele kleine, ultramikroskopische Metallteilchen sind, die die Färbung des Wassers verursachen, erkennt man nach einer von Siedentopf und Zsigmondy im Jahre 1903 erfundenen Methode. Man betrachtet die Lösung mit einem Mikroskop, indem man von der Seite her beleuchtet, so daß der Beleuchtungslichtkegel dicht unter dem Mikroskop vorbeigeht, ohne daß etwas davon in das Objektiv hineinkommt. Infolge der Reflexion des Lichtes blitzen dann die Teilchen in dem dunklen Grund als helle Sterne auf. Man bemerkt nun, daß die so beobachteten Sternchen keineswegs in Ruhe sind, auch wenn man dafür sorgt, daß in der Flüssigkeit in der kleinen Küvette unter dem Mikroskop nicht die geringsten Strömungen sind. Was man sieht, ist ein Gewimmel von Lichtpünktchen, die in lebhafter Bewegung zwischeneinander hin huschen. Die Bewegung ist um so lebhafter, je kleiner und leichter die Teilchen sind, indessen beobachtet man sie auch noch bei ziemlich groben Teilchen, die man sogar noch im gewöhnlichen Mikroskop bei durchgehender Beleuchtung deutlich sehen kann. An solchen groben Teilchen ist die Erscheinung auch zuerst mit dem gewöhnlichen Mikroskop beobachtet worden, und zwar von dem Botaniker Brown im Jahre 1827. Nach dem Entdecker heißt sie die Brownsche Bewegung.

Man hat sich lange vergeblich gefragt, was die Ursache dieser merkwürdigen Bewegungen sein könne, die sich bei den verschiedenartigsten Suspensionen stets in der gleichen Weise zeigt. Alle Erklärungsversuche haben sich als unzulänglich erwiesen, bis auf einen, nämlich, daß wir hier direkt die regellosen Bewegungen der kleinsten Teilchen der Materie vor uns sehen. Indem die Wassermoleküle regellos auf die suspendierten Partikelchen stoßen, überwiegt ihre Stoßkraft bald in der einen, bald in der anderen Richtung und daraus resultiert die beobachtete Hin- und Herbewegung. Es läßt sich theoretisch nachweisen, daß der durchschnittliche Wert der Geschwindigkeit eines hin- und hergestoßenen Partikelchens derselbe sein muß als der eines Gasmoleküls von der Masse des Partikelchens bei der herrschenden Temperatur. Ist also M die träge Masse des

Partikelchens, v seine (stets wechselnde) Geschwindigkeit, so muß der Mittelwert der Größe $M \cdot v^2$ den für die herrschende Temperatur charakteristischen Wert haben (S. 37). Hiernach ist die übliche Bezeichnung für das Phänomen als die „Brownsche Molekularbewegung" völlig berechtigt.

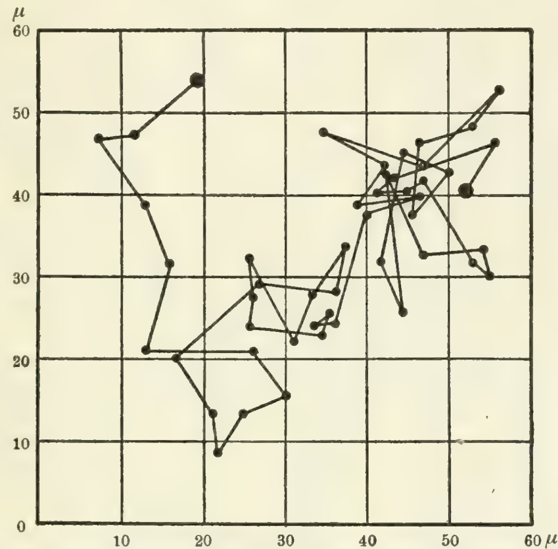


Fig. 13. Brownsche Molekularbewegung eines in Wasser suspendierten Teilchens nach Jean Perrin.

In Fig. 13 sehen wir die Bahn eines Teilchens infolge der Brownschen Molekularbewegung im vergrößerten Maßstab aufgezeichnet, wie sie wirklich vor kurzem von Jean Perrin an einem ziemlich großen Harzkügelchen (Mastix) in Wasser experimentell festgestellt worden ist. Die runden Punkte geben die Lage des Körnchens in Zeitintervallen von 30 zu 30 Sekunden an. Zwei aufeinander folgende Lagen sind einfach durch eine gerade Linie miteinander verbunden worden. In Wirklichkeit ist die Bewegung natürlich außerordentlich viel komplizierter. Wenn man beispielsweise von 1 zu 1 Sekunde beobachtet haben würde und die Zeichnung in derselben Weise ausgeführt hätte, so würde jede der geraden Strecken durch eine sehr verworrene

Kurve aus 30 Teilstrecken ersetzt sein. Aber auch die Strecken von 1 zu 1 Sekunde würden bei genauerer Beobachtung sich als äußerst komplizierte Zick-Zack-Kurven erweisen, und es ist daher klar, daß die wirkliche Geschwindigkeit des Partikelchens in jedem Moment auf seiner in den feinsten Teilstrecken noch immer sehr komplizierten Bahnkurve unendlich viel größer ist, als die Geschwindigkeit, mit der es in einer nach Sekunden messenden Zeit wirklich vorwärts kommt. Wir haben schon oben gesehen, daß die Diffusion der Gasteilchen in entferntere Gebiete im Vergleich zu ihrer kolossalen Momentangeschwindigkeit sehr klein ist (S. 39). Es ist also unmöglich den Mittelwert der molekularen Geschwindigkeit v für die suspendierten Partikelchen direkt aus den Messungen zu entnehmen.

Indessen führt da ein indirektes Verfahren zum Ziel. Die Vorwärtsbewegung der Partikelchen im Laufe einer längeren Zeit ist um so größer, je größer seine „Molekularbewegung" ist, und es ist A. Einstein gelungen durch sehr tiefgehende theoretische Untersuchungen eine Formel zu finden, durch welche die beiden Größen miteinander verknüpft sein müssen. In dieser Formel kommen nur solche Faktoren vor, die man bei größeren Teilchen experimentell bestimmen kann, zum Beispiel das spezifische Gewicht und der Kugeldurchmesser der Teilchen, sowie der Reibungskoeffizient des Wassers. Jean Perrin fand durch eine große Reihe von Messungen die Einsteinsche Formel gut bestätigt und man kann demnach aus seinen Versuchen den Wert von v für die benutzten Harzkügelchen berechnen. Wenn wir nun mit m_0, v_0 Masse und Geschwindigkeit eines Wasserstoffmoleküls bei derselben Temperatur bezeichnen, so ist:

$$M \cdot v^2 = m_0 \cdot {v_0}^2$$

also:

$$m_0 = M \cdot \frac{v^2}{{v_0}^2}$$

Nun sind aber M und v, wie wir gesehen haben, experimentell zu ermitteln. Für die von Perrin benutzten Kügelchen berechnet sich M zu ungefähr 0,63 Billionstel Gramm und v zu ungefähr 4 mm/sec. Wie wir ferner oben (S. 38) gesehen haben, ist v_0 bekannt, bei Zimmertemperatur ergibt sich für Wasserstoff 1900 m/sec. Demnach kann man aus den Messungen das Gewicht eines einzelnen Wasserstoffmoleküls berechnen. Durch eine

Reihe sorgfältiger Messungen fand Perrin mit guter Übereinstimmung: $m_0 = 2{,}8 \cdot 10^{-24}$ gr. Nun wiegt aber 1 cbcm Wasserstoff bei 0^0 C und 760 mm Druck $8{,}985 \cdot 10^{-5}$, dividiert man diese Zahl durch den eben gefundenen Wert von m_0,, so bekommt man die Zahl der Moleküle, d. h. die Loschmidtsche Zahl. Es ergibt sich: $N = 32$ Trillionen.

Sehr interessant ist es, daß Perrin die Loschmidtsche Zahl mit seinen Harzsuspensionen noch nach einer anderen ganz unabhängigen Methode bestimmen konnte. Obwohl die Teilchen einer trüben Flüssigkeit sehr langsam heruntersinken, so kann man im Lauf einiger Stunden oder einiger Tage, wenn man sie ganz still stehen läßt, doch oft beobachten, daß die oberste Schicht von einigen Millimetern klar wird. Kolloidale Metallösungen, deren Teilchen nicht gar zu fein sind, entfärben sich infolgedessen an ihrer Oberfläche, ebenso auch die Harzsuspensionen, mit denen Perrin arbeitete. Man könnte nun denken, daß eine sehr dünne Schicht der Flüssigkeit auf diese Weise sich schließlich ganz klären müßte, indem die Teilchen zu Boden fallen. Indessen fand Perrin, daß dies keineswegs der Fall ist. Er schloß die Harzsuspension in einen der kleinen Glaströge ein, die von Ärzten zum Zählen der Blutkörperchen gebraucht werden, und die etwa $^1/_{10}$ mm hoch sind, und betrachtete sie mit einem stark vergrößernden Mikroskop. Da ein sehr starkes Objektiv nur eine sehr geringe Gesichtsfeldtiefe hat, so sah er bei einer bestimmten Einstellung immer nur die Harzkügelchen in einem bestimmten Niveau, in einer Schicht von vielleicht 1 μ Dicke, Durch Heben und Senken des Mikroskops konnte er dann auf alle möglichen Niveaus einstellen. Unmittelbar nach der Füllung fand er natürlich überall ungefähr dieselbe Zahl von Partikelchen, aber bald reicherten sich die tieferen Schichten mehr und mehr an, während die oberen verarmten. Nach einigen Stunden trat ein gewisser Endzustand ein, in dem obersten Niveau war die Zahl der Teilchen dann beispielsweise in einer bestimmten Suspension etwa der zehnte Teil von der Zahl der Teilchen in der Schicht direkt über dem Boden, und dazwischen ging die Konzentration von dem kleinen Wert in einer ganz gesetzmäßigen Weise allmählich zu dem großen Wert über.

Dieser regelmäßige Endzustand bleibt nicht nur während Stunden, sondern während Tagen und Wochen, solange man warten mag, ganz konstant, es kann nicht die Rede davon sein,

daß sich die Teilchen ganz zu Boden schlagen. Die Suspension verhält sich in dieser Beziehung ganz ähnlich, wie ein Gas, beispielsweise die Lufthülle unserer Erde, die freilich durch die Schwerkraft am Erdkörper festgehalten wird, sich aber doch nicht auf den Erdboden niederschlägt, sondern nach oben hin in ganz gesetzmäßiger Weise allmählich immer dünner wird. In beiden Fällen ist der Grund für dieses Verhalten die regellose Molekularbewegung, welche die Teilchen immer wieder auch nach den oberen Schichten entgegengesetzt der Richtung der Erdschwere zurückführt. Der quantitative Unterschied zwischen Gas und Harzsuspension ist allerdings enorm groß. Denn während die Suspension sich schon in einer Niveaudifferenz von ungefähr 0,1 mm auf $^1/_{10}$ verdünnt, tritt dasselbe in der atmosphärischen Luft bei einer Durchschnittstemperatur von 0° C erst in dem Niveauunterschied 18,4 Kilometer ein. Es erklärt sich das aber ohne weiteres aus der großen Verschiedenheit im Gewicht der Luftmoleküle und der Harzpartikelchen. Die Theorie ergibt, daß die Niveauunterschiede in zwei verschiedenen Gasen, die demselben Verdünnungsverhältnis entsprechen, sich genau wie die Gewichte der Moleküle verhalten. Nun konnte Perrin das Gewicht der Harzpartikelchen bestimmen, es betrug in einem bestimmten Fall beispielsweise $0{,}82 \cdot 10^{-14}$ gr (nach Abzug des Auftriebs im Wasser natürlich), der Niveauunterschied, welchem die Verdünnung auf $^1/_{10}$ entsprach, war in diesem Fall 0,094 mm. Wir haben damit alle Zahlen, um das Gewicht m eines Luftmoleküls zu berechnen:

$$m = 0{,}82 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{0{,}094}{18{,}4 \cdot 10^6}$$

Es ergibt sich so: $m = 0{,}42 \cdot 10^{-22}$ gr. Das ist natürlich ein Durchschnittswert, weil ja die Luft aus mehreren Bestandteilen gemischt ist, aber es ist auch genau das durchschnittliche Gewicht der Moleküle, welche die Luft bilden, vorausgesetzt, daß die gemessenen Zahlen genau sind. Nun wiegt 1 cbcm Luft bei 0° C und 760 mm Druck 0,00129 gr, dividieren wir dies Gewicht durch den eben genannten Wert von m, so finden wir die Zahl der Moleküle, die Loschmidtsche Zahl $N = 31$ Trillionen. Wie man sieht, stimmen die beiden auf ganz verschiedenen Wegen gefundenen Zahlen gut überein. Ich darf nicht unterlassen zu bemerken, daß Perrin eine große Anzahl

von Versuchen gemacht hat, indem er Teilchen von den verschiedensten Durchmessern (von $^1/_4$ μ bis zu 12 μ hin) benutzte, und daß alle seine Versuche ganz ähnliche Resultate ergaben. Wir können demnach mit ziemlicher Sicherheit sagen, daß die Loschmidtsche Zahl in der Gegend von 30 Trillionen liegt.

Lösungen.

Die Lösung eines Salzes in Wasser (oder einer andern Flüssigkeit) ist nichts anderes als eine äußerst feine Suspension, in der die suspendierten Teilchen die Moleküle des gelösten Körpers selber sind. Der gelöste Körper verhält sich daher wie ein Gas in der Flüssigkeit, er ist gewissermaßen durch die Lösungstension verdampft worden. Es bestehen allerdings zwischen der Flüssigkeit und den gelösten Molekülen Kohäsionskräfte, welche verhindern, daß der gelöste Körper aus ihr herausgeht; aber zwischen den vorher zusammenhängenden Molekülen des Körpers selber haben infolge ihrer weiten Trennung alle Kräfte aufgehört, so gut, wie zwischen den Molekülen eines Gases. Die Moleküle eines gelösten Körpers befinden sich natürlich genau so wie die Partikelchen irgend einer Suspension in fortwährender regelloser Bewegung, und sie suchen sich daher gleichmäßig in dem Volumen der Flüssigkeit auszubreiten. Man kann das leicht demonstrieren, indem man auf den Boden eines mit Wasser gefüllten Zylinders ein farbiges Salz legt, beispielsweise Kalibrichromat, einen kräftig braunroten Stoff. Das Salz löst sich und man beobachtet nun, wie die Färbung nach und nach im Wasser aufwärts wandert, obwohl die Salzmoleküle schwerer sind als die Wassermoleküle, ähnlich wie wir es schon beim Bromgas in Luft gesehen haben. Allerdings geht das Wandern der Moleküle im Wasser, sehr viel langsamer, weil ihre vorwärtsschreitenden Bewegungen im Wasser sehr behindert sind. Es ist gerade so, als wenn man ein Gas sich in einem fein porösen Körper, z. B. gebranntem Ton, ausbreiten läßt, wo die Moleküle infolge der starken Verkürzung ihrer freien Weglängen durch die Tonteilchen ebenfalls sehr aufgehalten werden. Es gleichen sich die Dichtigkeitsunterschiede freilich auch durch den Ton hindurch schließlich aus, aber doch verhältnismäßig sehr langsam.

Wir können nun an Lösungen leicht eine kleine Rechnung anstellen, die wenigstens zur ungefähren Ermittelung der Lo-

schmidtschen Zahl führt. Betrachtet man den gelösten Körper als Gas (was sich wirklich durch die experimentellen Erfahrungen als zulässig erwiesen hat), so kann man aus den Gasgesetzen sein Ausdehnungsbestreben in der Flüssigkeit in derselben Weise berechnen, wie das Ausdehnungsbestreben eines Gases. Ebenso, wie bei Gasen, bezeichnet man die dafür charakteristische Größe auch in den Lösungen durch das Wort „Druck", und zwar sagt man hier speziell „osmotischer Druck". Sind in der Lösung osmotische Druckdifferenzen vorhanden, so suchen sie sich auszugleichen, und man kann, genau wie in Gasen, die Kraft angeben, mit der das geschieht. Dieser Kraft wirkt nun in der Flüssigkeit der Reibungswiderstand entgegen, den die Teilchen bei ihrer Diffusion erfahren. Die Diffusionsgeschwindigkeit regelt sich also dadurch, daß sich Reibungswiderstand und Kraft des osmotischen Druckgefälles das Gleichgewicht halten. Der Reibungswiderstand ist um so größer, je größer die Diffusionsgeschwindigkeit und je feiner die Verteilung der Materie in der Lösung ist. Man kann infolgedessen aus der Diffusionsgeschwindigkeit, die man bei einem bestimmten Konzentrationsgefälle beobachtet, auf den Grad der Zerteilung der Materie, d. h. also auf die Loschmidtsche Zahl, schließen. Man muß dazu den Diffusionskoeffizienten und das spezifische Gewicht der gelösten Teilchen kennen, zwei Größen, die beide experimentell zu ermitteln sind. Für Zucker sind sie beispielsweise bekannt, rechnet man mit ihnen, so findet man $N = 50$ Trillionen. Diese Zahl ist aber sicher nicht genau. Es sind bei ihrer Berechnung noch zwei vereinfachende Annahmen gemacht worden, die nicht genau zutreffen können, erstens nämlich, daß sich die Moleküle des Zuckers wie kugelrunde Bälle verhalten und daß der Reibungswiderstand sich nach derselben Formel berechnet, wie für eine Kugel, die im Vergleich zu den Wassermolekülen groß ist, zweitens, daß sie dieselbe Größe haben, wie die, ebenfalls kugelförmig angenommenen, Moleküle des festen Zuckers. Diese zweite Annahme ist wohl sicher nicht richtig, denn, wie es scheint, vereinigen sich die Moleküle eines in Wasser gelösten Körpers stets mit einigen Wassermolekülen zu einem größeren Knäuel und der Durchmesser des suspendierten Zuckerpartikelchens ist demnach größer als der dafür in Rechnung gesetzte Wert. Die Reibung eines einzelnen Teilchens ist demnach größer, als in der Rechnung angenommen wurde. Demnach

mußte man, um trotzdem den bei der Diffusion beobachteten Reibungswiderstand zu bekommen, die Zerteilung der Materie in Moleküle feiner annehmen, als sie ist. Mit andern Worten die berechnete Zahl N ist zu groß. Nun hat im Jahre 1906 A. Einstein durch eine sehr geistreiche Methode das Volumen der gelösten Moleküle aus gewissen experimentellen Daten der Zuckerlösung selber zu berechnen versucht und in der Tat einen größeren Wert gefunden, als er der oben erwähnten Rechnung zugrunde gelegt ist. Nach der Einsteinschen Berechnung ergibt sich $N = 29{,}4$ Trillionen*).

3. Sind die Moleküle einzeln sichtbar?

Was uns immer wieder an der körnigen Struktur der Materie zweifeln macht, das ist ihr Aussehen. Daß ein Sandstein körnig ist, sehen wir sofort, ja wir können jedes einzelne Sandkorn bemerken. Aber auch bei Lehm und Backstein zweifeln wir nicht daran, daß er aus vielen kleinen miteinander verklebten Partikelchen besteht. Wenn wir auch die einzelnen Körnchen nicht sehen können, so beweist doch die diffuse Zerstreuung des Lichtes an ihnen dem Auge unmittelbar ihr Dasein. Aber ein klares Stück Glas sollte nicht ein einziges zusammenhängendes Stück Materie sein?

Diese Zweifelfrage gründet sich zunächst auf einer fehlerhaften Verallgemeinerung häufig beobachteter Erscheinungen. Es ist nämlich keineswegs richtig, daß für so äußerst kleine Körperchen, wie es die Moleküle sind, dieselben Gesetze der Reflexion und Lichtbrechung gelten wie für die im Vergleich zu ihnen sehr groben Körner des Sandes und des Lehms.

Beugung des Lichtes.

Daß sich sehr kleine Körper anders verhalten als große, will ich Ihnen an den Schatten zeigen, die sie werfen. Um aber eine weithin sichtbare Erscheinung zu bekommen, bringe

*) In seiner ersten Arbeit hat Einstein den Wert 19 Trillionen angegeben. Er hat aber später herausgefunden, daß in seinen Formeln noch ein kleiner Rechenfehler steckte. Nachdem dieser herausgeschafft ist, bekommt man die oben angeführte Zahl.

ich nicht einen sehr kleinen undurchsichtigen Körper in das Licht, sondern ich versehe einen großen undurchsichtigen Körper mit einem sehr kleinen Loch. Das kommt prinzipiell auf dasselbe hinaus. Ich zeige Ihnen das Schattenbild eines engen verstellbaren Spaltes, der von zwei Messingschneiden gebildet wird. Um wirklich scharfe Schatten zu bekommen, darf ich nicht die elektrische Bogenlampe als Lichtquelle benutzen. Denn die breite Oberfläche der weißglühenden Kohle kann natürlich von sehr kleinen Öffnungen in der großen Entfernung kein scharfes Bild geben. Auch die Sonne und der Mond geben ja Schatten, deren Umrisse verwaschen sind, an denen man Kernschatten und Halbschatten unterscheiden kann, wegen der Ausdehnung der Lichtquelle. So sehen Sie denn, wenn ich den Spalt durch das Licht der Bogenlampe beleuchte, die Ränder des Schattens auch ganz verwaschen. Das kann ich leicht ändern, wenn ich eine im Vergleich zu den benutzten Entfernungen punktförmige oder, weil es ein Spalt ist, eine zu ihm parallele linienförmige Lichtquelle nehme. Ich decke deswegen die Öffnung der Lampe mit einer Metallkappe zu, die nur durch einen feinen Spalt Licht hindurchläßt. Dieser Spalt dient nun als leuchtende Linie, und man sieht, daß die Schattenränder jetzt wirklich scharf sind, wenn der Spalt noch gut 1 mm breit ist. Ich schiebe nun die beiden Messingschneiden näher zusammen. Es treten bald allerlei merkwürdige Erscheinungen ein. Zuerst zeigen sich im Innern des Spaltbildes, das wir da sehen, mehrere dunkle Längsstreifen. Diese Streifen sind so schwach, daß sie nur aus der Nähe zu sehen sind. Wird der Spalt noch enger, so verschwinden sie; das Spaltbild erscheint dann in der Mitte hell, aber nach den beiden Rändern zu allmählich grau werdend, die Grenzlinien sind verwaschen. Gleichzeitig treten in dem dunklen Schatten der Messingschneiden helle farbige Längsstreifen auf, erst sehr eng beisammen, aber weiter auseinandergehend, sobald ich den Spalt noch enger mache. Schiebe ich den Spalt schließlich auf einige Mikron Breite zusammen, so verbreitern sich die hellen Streifen im Schattenraum immer mehr und rücken weiter nach außen, zugleich rücken die Grenzen des eigentlichen Spaltbildes nach. Wir haben die eigentümliche Tatsache, daß, während der Spalt in Wirklichkeit immer enger wird, sein Schattenbild sich mehr und mehr verbreitert. Schließlich sehen Sie nur noch einen ganz breiten diffusen

Lichtschein auf dem Schirm. Wir sehen daraus, daß für sehr kleine Öffnungen die gewöhnlichen Vorstellungen von den Lichtstrahlen und ihrer geradlinigen Fortpflanzung durch den Raum nicht mehr richtig sind. Das Licht wird, wie man sagt, um die Ränder des engen Spaltes herum gebeugt. Das ist auch gar nicht anders möglich, da das Licht, wie wir wissen, eine Art von Wellen ist. Wenn nämlich Wellen, welcher Art sie auch sein mögen, auf einen Körper auftreffen, der ihr Weitergehen verhindert, der aber ein kleines durchlässiges Loch hat, so strahlen auf der anderen Seite von dieser Öffnung aus Wellen nach allen Richtungen, fast wie wenn das Loch eine selbständige Strahlungsquelle wäre. Das haben wir eben an dem sehr verengerten Spalt gesehen. Daß sich die Sache so verhalten muß, hat zuerst Huyghens erkannt. Nach ihm nennen wir diesen Satz das Huyghenssche Prinzip. Aus der Natur der Wellenfortpflanzung scharf mathematisch begründet hat ihn aber erst Kirchhoff. Was wir am engen Spalt sahen, ist also eigentlich nicht sonderbar. Sonderbar ist vielmehr, daß wir von einem breiten Spalt ein scharfes Schattenbild bekommen. Indessen wird uns auch das erklärlich, wenn wir uns ein sogenanntes Gitter betrachten, das aus einer großen Menge ganz feiner, genau gleicher Spalte besteht, die durch lauter gleiche schmale, undurchsichtige Striche getrennt sind. Jeder Spalt liefert, wenn Licht auf ihn trifft, wie wir es eben gesehen haben, ein sich weit öffnendes Lichtbündel. Ich bringe nun vor unsere Lichtlinie einen millimeterbreiten Spalt und halte dicht an ihn ein Gitter. Wir haben also eine breite rechteckige Öffnung, die durch ein feines Gitter ausgefüllt ist. Wie Sie sehen, addieren sich die den einzelnen Gitterspalten entsprechenden Lichtbündel keines-

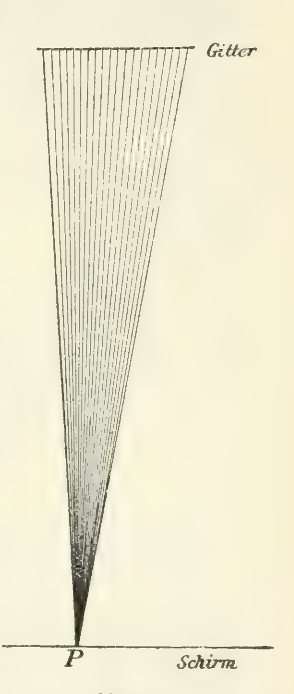


Fig. 14.
Von einem Gitter kommende, miteinander interferierende Strahlen.

wegs zu einem, dessen Intensität die Summe der Intensitäten der einzelnen wäre, sondern wir erblicken den breiten Lichtschein, zerteilt in eine große Zahl heller Längsstreifen mit farbigen Rändern. Nehme ich gesättigt rotes Licht, indem ich ein rotes Glas einschalte, so bekommen wir lauter rote Linien, durch dunkle Zwischenräume getrennt, in ungefähr gleichem Abstande voneinander. Der mittlere Streifen ist am hellsten, nach den Seiten hin werden sie schwächer. Gerade so sah das Lichtbündel aus, das von einem einzelnen Spalt her kam, nur ist es jetzt regelmäßig von breiten dunklen Stellen unterbrochen. Halte ich ein grünes Glas vor das Licht, so bekommen wir ein ganz ähnliches Bild. Grün und rot, nebeneinander gehalten, zeigen, daß beim Rot die Abstände der Streifen größer sind als beim Grün. Wir haben hier, gerade wie bei den Newtonschen Ringen, die ich Ihnen in einer früheren Vorlesung zeigte, eine ganz charakteristische Interferenzerscheinung vor uns. Wir haben früher gesehen, daß ein Lichtstrahl sich mit einem anderen zu einem Strahl maximaler Helligkeit zusammensetzt, wenn in beiden dieselben Phasen des periodisch wechselnden Zustandes, den das Licht darstellt, zusammentreffen, daß sie sich dagegen auslöschen, wenn gerade die entgegengesetzten Phasen zusammentreffen, und daß es zwischen diesen beiden äußersten Fällen alle möglichen Übergangsstufen gibt. In dem jetzt gezeigten Experiment treffen sich an jeder Stelle des Schirmes aber nicht nur zwei, sondern vielmehr eine Unmenge Strahlen, nämlich von jedem einzelnen Spalt des Gitters einer, etwa wie Fig. 14 zeigt. Diese Fig. 14 stellt aber die wirklichen Verhältnisse nur sehr ungenau dar. Erstens müssen wir uns die Gitterspalten ganz außerordentlich viel enger und zahlreicher denken, einige hundert auf die Breite eines Millimeters. Und zweitens müssen wir uns den Punkt P viel weiter vom Gitter entfernt

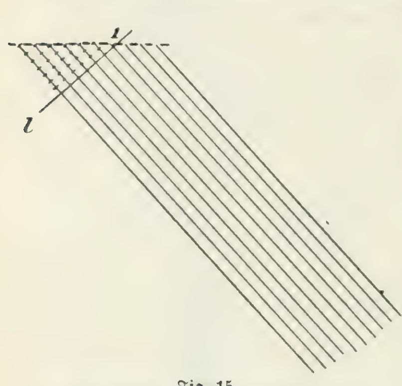


Fig. 15.
Wegunterschiede der vom Gitter nach einem Punkt hingehenden Strahlen.

denken, nämlich einige Meter. Damit ist nun gesagt, daß alle Strahlen, die von einer ziemlich zahlreichen Reihe von Spalten zum Punkte P gehen, fast vollkommen gleiche Richtung, also auch gleiche Intensität haben, und daß man die Wegunterschiede der einzelnen Strahlen gegen den vom ersten Spalt dieser Reihe kommenden findet, wie es Fig. 15 zeigt. Man hat nämlich durch den Punkt 1, in dem der erste Strahl der Reihe, die ich ins Auge fasse, aus dem Gitter heraustritt, eine Linie zu ziehen, die auf den Strahlen senkrecht steht: Die Stücke, die diese Senkrechte von den übrigen Strahlen abschneidet, vom Gitter an gerechnet, sind dann die Längen, um die die Wege dieser Strahlen größer sind als die des ersten. Denn die Linie l fällt für diese kurze

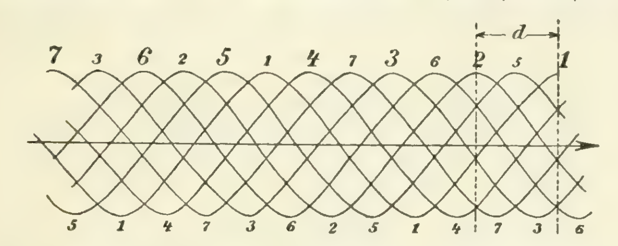


Fig. 16. Graphische Darstellung der in dem Punkte P interferierenden Strahlen.

Strecke so gut wie vollständig zusammen mit einem um den sehr entfernten Punkt P geschlagenen, durch 1 gehenden Kreisbogen. Ist nun der Wegunterschied des zweiten Strahles gegen den ersten d, so ist der des dritten $2d$, des vierten $3d$ usw. In Fig. 16 ist nun dargestellt, in welcher Weise die Strahlen in dem fernen Punkte P interferieren. Alle Strahlen sind nach der an Fig. 2 zuerst erläuterten Methode graphisch dargestellt. Strahl 2 ist gegen 1 um die Länge d zurück, Strahl 3 um $2d$ usw. Man sieht nun aus Fig. 16, daß wegen dieser Regelmäßigkeit eine gewisse, im allgemeinen ziemlich große Zahl von Strahlen sich gerade zu Null aufheben müssen. In der Figur sind es zufällig sieben. Gehen wir nun weiter von dem folgenden Strahl (also in unserem Beispiel dem achten), so ist ohne weiteres klar, daß auch er mit einer gewissen Zahl der in der Reihe folgenden Strahlen eine Gruppe bildet, die gerade die Summe Null ergibt usf. Im allgemeinen werden sich also alle von dem Gitter schief ausgehenden Strahlen in den fernen

Punkten, wo sie sich vereinigen, insgesamt auslöschen, bis auf einen ganz kleinen Rest vielleicht, der bei der eben geschilderten Art der Abzählung an den äußersten Teilen des Gitters noch übrig bleibt. Aber dieser Rest ist gegenüber der ganzen Lichtmenge verschwindend klein, so daß weder das Auge noch irgend ein physikalisches Instrument ihn zu bemerken vermag. Diese Überlegung trifft nur in zwei Fällen nicht zu. Erstens nämlich, wenn der entfernte Punkt P genau senkrecht vor einem Punkte des Gitters liegt. Dann fällt die durch diesen Punkt gelegte Linie l mit dem Gitter selbst zusammen, und es ist deswegen $d = 0$. Eine große Menge Strahlen addieren sich daher in P in derselben Weise wie die beiden Strahlen in Fig. 3a und geben eine beträchtliche Intensität. Die Strahlen, die von den etwas weiter abgelegenen Stellen des Gitters kommen, löschen sich dagegen wie in dem zuerst erklärten Fall aus. Wir bekommen also beträchtliche Helligkeit in der ganzen rechteckigen Fläche, die wir erhalten, wenn wir die rechteckige Öffnung, in der das Gitter sitzt, uns senkrecht auf den Schirm projiziert denken. Ein wenig Licht haben wir auch noch an Stellen, die außerhalb dieses Flächenstückes, ganz nahe an seiner Begrenzung liegen, aber eine genaue Berechnung zeigt, daß der Übergang von Hell und Dunkel, wenn die Grenze auch keine mathematische Linie ist, doch sehr jäh erfolgt.

Bei dieser Überlegung habe ich mich der Einfachheit halber an den Fall gehalten, wo die von den einzelnen Spalten des Gitters ausgehenden Lichtstrahlen am Gitter selbst gleiche Phasen haben. Das ist der Fall, wenn die linienförmige Lichtquelle soweit von dem Gitter entfernt ist, daß die zu den einzelnen Gitterspalten von ihr kommenden Lichtstrahlen keine merkbaren Wegunterschiede haben. Ist die Lichtlinie zu nahe am Gitter, dann wird das Licht der mittleren Spalten stets gegen das der Spalten am Rande etwas vorausgeeilt sein. In diesem Falle kann man aber die Überlegung in ganz derselben Weise durchführen, wenn man die Wege der Strahlen, die in den fernen Punkten interferieren, nicht von dem Gitter G, sondern von einem um die Lichtquelle L geschlagenen Kreise, der sich fast mit dem Gitter deckt (Fig. 17), anfangend rechnet, denn bis zu diesem Kreisbogen haben alle Strahlen von L aus denselben Weg zurückgelegt. Alle Punkte, in denen die auf den einzelnen Teilen dieses Kreisbogens senkrecht stehenden Strahlen

(d. h. die über den Kreisbogen hinaus verlängerten Radien) den Schirm S treffen, müssen eine beträchtliche Helligkeit zeigen, alle anderen Punkte des Schirmes sind dunkel. Mit anderen Worten: Nur der geometrische Schatten der rechteckigen Öffnung, die das Gitter ausfüllt, ist hell, und zwar ist diese Helligkeit scharf abgegrenzt gegen die umgebende Dunkelheit.

Es ist aber, wie ich schon angedeutet habe, noch ein zweiter Fall zu besprechen, in welchem die von den einzelnen Gitterspalten ausgehenden Strahlen sich nicht gegenseitig auslöschen. Wenn nämlich der Wegunterschied d zwischen zwei benachbarten Strahlen gerade gleich einer Wellenlänge ist (s. Fig. 18), dann würden sich ja auch die verschiedenen Kurven in der Fig. 16

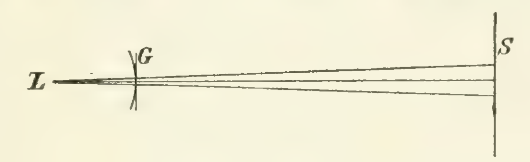


Fig. 17. Schatten.

alle genau überdecken. Dieser Fall tritt offenbar bei einem ganz bestimmten Neigungswinkel der Strahlen ein, und für diesen gilt nun dieselbe Überlegung wie für die senkrecht ausgehenden Strahlen. Wir bekommen deswegen zu beiden Seiten des eigentlichen Spaltbildes auf dem Schirm noch je ein weiteres, scharf begrenztes Bild. Genau ebenso ist es aber auch, wenn d gleich zwei Wellenlängen, gleich drei Wellenlängen usw. ist.

Wir erhalten somit aus der Wellentheorie durch einfache logische Überlegungen das Resultat, daß bei sehr häufiger Wiederholung eines engen Spaltes in gleichmäßigen Abständen (als Gitter) von dem breiten Lichtschein, den ein einzelner Spalt gibt, nur einzelne Streifen stehen bleiben, zwischen denen mehr oder weniger breite dunkle Räume sind, indem sich die von den einzelnen Spalten kommenden Strahlen dort alle auslöschen.

Das ist aber genau das, was das Experiment uns gezeigt hat.

Während das mittlere Spaltbild offenbar für alle Farben und für alle Gitterweiten ganz genau dasselbe ist, lehrt ein

Blick auf Fig. 18, daß der Winkel, unter dem die seitlichen Bilder auf den Schirm projiziert werden, erstens von der Wellenlänge, zweitens von der Gitterweite abhängt.

Bei einer bestimmten Gitterweite ist der Winkel um so größer, je größer die Wellenlänge ist. Nimmt man weißes Licht, so erscheint daher nur das mittlere Bild weiß, jedes seitliche Bild ist in ein „Spektrum" ausgezogen. Und zwar ist rot am meisten abgelenkt, weniger gelb, grün, blau, am wenigsten violett, das die kleinste Wellenlänge hat. Es sei hier nebenbei bemerkt, daß man in neuerer Zeit die Teilung der Gitter mit den sogenannten Teilmaschinen äußerst exakt gleichmäßig bekommen hat, und zwar so, daß man zu gleicher Zeit die Weite des Gitters sehr genau kennt. Da man andererseits Winkel mit einem hohen Grade von Genauigkeit messen kann, so geben uns die Gitter die Möglichkeit, die Wellenlängen der einzelnen Lichtarten besonders gut zu ermitteln. Es gibt denn auch kaum andere Längendimensionen, die mit solcher Schärfe gemessen sind, als die Wellenlängen bestimmter Lichtarten. Ein Zeugnis dafür ist, daß man neuerdings dem metrischen Maßsystem eine Lichtwellenlänge zugrunde legt. Man definiert das Meter dadurch, daß man angibt, wie viel Wellen einer bestimmten Lichtart auf 1 m gehen.

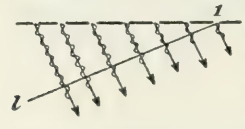


Fig. 18. Erklärung der seitlichen Spaltbilder.

Nehmen wir verschiedene Gitter, so rücken die seitlichen Bilder für eine bestimmte Farbe um so weiter weg, je enger die Gitterspalten beisammenstehen. Das sieht man aus Fig. 18. Ich will es Ihnen aber auch demonstrieren, indem ich das Gitter, das ich vorhin brauchte, aus der rechteckigen Öffnung herausnehme und durch ein viel feineres Gitter ersetze. Sie sehen das mittlere Spaltbild ungeändert, aber außer ihm sehen Sie ganz weit ab jederseits nur noch ein seitliches Bild, das in ein breites Spektrum ausgezogen ist, außen rot und innen violett. Würden wir ein noch engeres Gitter nehmen, dann würden die seitlichen Bilder noch weiter entfernt sein; schließlich würden sie ganz ins Unendliche rücken und verschwinden. Man kann aus Fig. 18 den Satz ablesen, daß das eintreten muß, sobald der Abstand zweier Gitterspalten gleich der Wellenlänge oder noch kleiner ist.

Also bei diesen äußerst feinen Gittern löscht sich schließlich alles Licht, das von den einzelnen Spalten schief ausstrahlt, durch Interferenz aus. Es bleibt nur das gerade hindurchgehende Licht, das ein scharfes Schattenbild von der Begrenzung der ganzen Gitterfläche liefert. Dasselbe muß sich aber auch ergeben, wenn überhaupt kein Gitter vorhanden ist. Wir wollen uns nämlich ein Rechteck, das in Wirklichkeit kein Gitter hat, in unserer Phantasie in eine Unzahl äußerst feiner Streifen zerschneiden. Denken wir uns von diesen Streifen immer abwechselnd einen hell und einen dunkel, dann stellen wir uns ja ein Gitter vor, und zwar können wir uns die Teilung so fein denken, daß dies Gitter keine Seitenbilder mehr geben würde. D. h. das Seitenlicht, das von der einen Hälfte der Streifen ausstrahlen könnte, verschwindet, weil sich die einzelnen Strahlen durch Interferenz auslöschen. Dasselbe Resultat bekommen wir, wenn wir diese Streifen abblenden und die andere Hälfte der Streifen hell lassen. Weil nun das Seitenlicht jedes der beiden Streifensysteme für sich schon ausgelöscht wird, ist natürlich auch, wenn beide Streifensysteme freigelassen werden, also überhaupt kein Gitter vorhanden ist, kein Seitenlicht zu bemerken.

Die scharfen Schatten sind als Interferenzerscheinungen der Lichtwellen zu erklären, indem alle um die Begrenzungen der Gegenstände herum „gebeugten" Strahlen sich insgesamt zu Null addieren. Nur solche Gegenstände werfen scharfe Schatten, deren Dimensionen im Vergleich zu den Lichtwellenlängen sehr groß sind, bei kleinen Dimensionen variieren die Phasendifferenzen der gebeugten Strahlen zu wenig, um einfach Dunkelheit zu geben, man bekommt dann meistens mehr oder weniger komplizierte Interferenzerscheinungen, die man Beugungserscheinungen nennt. Eine äußerst feine Trübung, z. B. ein Gitter, dessen dunkle Streifen in Abständen von weniger als einer Wellenlänge aufeinanderfolgen, unterscheidet sich von einem klar durchsichtigen Körper nicht.

Grenze der Sichtbarkeit.

Auf dem Schattenwerfen beruht schließlich in letzter Linie die Möglichkeit, daß die Gegenstände auf unserer Netzhaut

scharf abgebildet werden, daß wir also deutlich sehen. Es ist demnach von der allerhöchsten Wichtigkeit für uns, daß die Lichtwellen so außerordentlich klein sind (durchschnittlich $\frac{1}{2}\,\mu$). Denn sonst könnten wir die Gegenstände um uns nicht unterscheiden, wir bekämen nur Eindrücke von Helligkeit und Dunkelheit im allgemeinen. Die Schallwellen sind rund etwa millionenmal so lang. Während wir im Licht Körper von den Dimensionen $\frac{1}{10}$ mm noch unterscheiden können, würden wir mit Wellen von der Größe der Schallwellen erst Gegenstände von den Dimensionen ca. 100 m mit derselben Schärfe sehen können. Es gibt wirklich dem Licht verwandte Strahlenarten von diesen Dimensionen, nämlich die Hertzschen Wellen, die heutzutage in der Telegraphie ohne Draht so wichtig geworden sind. Aber das Wesen, das diese Wellen zum Wahrnehmen der äußeren Dinge brauchen wollte, müßte ein Riese sein von der millionenfachen Größe wie wir. Denn die Pupille seiner Augen müßte, damit diese Riesenwellen überhaupt scharfe Bilder aus der Netzhaut entwerfen könnten, einige Kilometer weit sein. Der Riese würde nun mit den Hertzschen Wellen, wenn er sie sich genügend stark herstellen könnte, mit bloßem Auge die Gestalt der Länder deutlich erkennen, wie wir sie auf der Landkarte sehen. Er würde die Wälder, Gebirge, Seen und die Städte scharf in ihren Umrissen wahrnehmen und auch bemerken, daß die Städte sich aus lauter feinen Körnchen, den Häusern aufbauen. Aber eine Mauer wäre für ihn so durchsichtig wie für uns ein Glimmerblättchen, und er würde von den einzelnen Bausteinen nichts mehr bemerken, ebenso wenig von all den kleinen Dingen, die unsere eigene kleine Welt und unser Heim ausmachen. In ganz demselben Verhältnis, wie dieser Riese und die Hertzschen Wellen zu unserem Hausrat stehen, stehen wir und die Lichtwellen zu den Molekülen. Wenn es eine Wellenart gäbe, deren Wellenlänge etwa der millionste Teil von der des Lichtes wäre, und wenn diese Wellenart in unserem Auge ähnlich gebrochen würde wie das Licht, dann könnten wir die Moleküle direkt sehen. Mit Mikroskopen kann man ja allerdings mehr sehen als mit bloßem Auge, nicht einfach deswegen, weil die Gegenstände durch die Linsenabbildung vergrößert werden (denn was nützte uns alle Vergrößerung, wenn die Umrisse der Körper im Bilde nicht scharf wären!), sondern vielmehr deswegen, weil die Mikroskoplinse, die dem Objekt sehr nahe gebracht wird, so geschliffen ist,

daß sie sehr weit geöffnete Lichtstrahlenbündel in enge Bündel zusammenbricht. Es kommen nun von dem Licht, das die kleinen Objekte auseinander beugen, nicht nur die mittleren Partien in unser Auge, sondern fast das ganze, und bei der Vereinigung all der gebeugten Strahlen treten glücklicherweise Interferenzen ein, die, ähnlich wie wir es beim Schattenbild des Spaltes sahen, ein ziemlich genaues Bild der kleinen Gegenstände bewirken. Aber diese Interferenzen und damit auch die scharfen Bilder hören auf, wenn die Beugung so stark wird, daß nur noch die mittlere diffuse Partie der Strahlen vorhanden ist. Man kann berechnen, daß in den besten Mikroskopen, die man überhaupt bauen kann, und die nebenbei bemerkt auf Grund dieser theoretischen Berechnung auch wirklich in der Zeißschen Fabrik in Jena gebaut werden, höchstens noch Körperchen von etwa 0,2 μ zu unterscheiden sind. Form und Struktur der Moleküle direkt zu sehen, ist also wegen der Wellennatur des Lichtes vollständig ausgeschlossen, es bleibt keine Spur einer Aussicht darauf.

Trübe Medien.

Es bleibt aber immerhin noch die eine Möglichkeit, die Moleküle als leuchtende Punkte gelegentlich wahrzunehmen. Auch die Sterne sind für uns, abgesehen von den Planeten, nur leuchtende Punkte, weil wegen ihrer immensen Entfernung die Lichtbündel, die wir von ihnen in das Fernrohr bekommen, einen so kleinen Öffnungswinkel haben, daß die Interferenzen, durch die erst ein Bild der Gegenstände hervorgebracht wird, nicht mehr eintreten können. Wir sehen also nur, daß von einem bestimmten Punkte des Himmels Licht kommt, und in unseren Fernrohren wird das Licht in einem kleinen kreisrunden Scheibchen vereinigt ohne jede Struktur und ohne jede Andeutung der Form des Sternes. Ganz ähnliche Beobachtungen hat man neuerdings an submikroskopischen Partikelchen gemacht.

Ich muß nun zunächst überhaupt etwas über die Optik der Körper, die kleine Partikelchen enthalten, der trüben Medien, berichten. Ich habe eine Glasplatte dadurch getrübt, daß ich Sporenstaub von Lycopodium (Bärlapp) aufgestreut habe. Ich projiziere ein rundes Diaphragma auf einem weißen Schirm und bringe die getrübte Glasscheibe in das Licht. Sie bemerken, wie sich um den dunklen Hof, der zunächst das Bild des Diaphragmas umgibt, ein farbiger Ring ausgebildet hat,

weiter außen noch ein zweiter. Es ist dies eine Erscheinung, die man ja sehr oft in der Natur beobachtet, wenn ein feiner Wolkenschleier vor dem Mond steht. Wir haben hier eine typische Beugungserscheinung vor uns. Jedes einzelne Körnchen gibt nämlich wegen seiner Kleinheit einen ganz diffusen Schatten, d. h. es verdunkelt das Bild des Diaphragmas im ganzen ein wenig, gibt aber keineswegs einen scharfen schwarzen Flecken. Außerdem wird um den Rand des Körnchens Licht herumgebeugt, in ähnlicher Weise wie um den Rand eines sehr schmalen Spaltes und wir bekommen farbige Beugungsringe in dem Schatten des Diaphragmas. Von einem einzelnen Korn wäre aber die Wirkung so schwach, daß nichts zu sehen wäre. Ich habe deswegen viele Körner auf die Platte gestreut und zwar ganz unregelmäßig verteilt. Da alle gleich groß sind, geben alle genau dasselbe Beugungsbild. Da sie ganz regellos liegen, entstehen zwischen den einzelnen Bildern keine regelmäßigen Interferenzen, wie es beim Gitter der Fall war, sondern die verschiedenen Interferenzen heben sich gewissermaßen immer gerade auf, und wir bekommen einfach eine Summation der Beugungsbilder, gleichsam ein verstärktes und deswegen deutlich sichtbares Beugungsbild des einzelnen Kornes. Die Bedingung dafür, daß dieses Bild zustande kommt, ist also, daß alle trübenden Körner genau gleich groß sind. Sehen wir um den Mond den farbigen Hof, so können wir daraus schließen, daß die Tröpfchen, die den Wolkenschleier bilden, alle genau gleich groß sind, ja wir können aus dem Beugungsbild sogar ihre Größe berechnen.

Eine andere Art trüber Körper entsteht durch viele kleine Partikelchen von verschiedener Größe. Dann überlagern sich alle möglichen Beugungsringe, so daß man sie nicht unterscheiden kann und nur eine allgemeine diffuse Zerstreuung des Lichtes wahrzunehmen ist. Von dieser Art sind die meisten Wolken.

Diese beiden Arten trüber Medien sind dadurch charakterisiert, daß die trübenden Partikelchen fast mit bloßem Auge, sicher aber unter dem Mikroskop zu erkennen sind.

Die interessanteste Klasse der trüben Medien ist aber die, deren Partikelchen man nicht mehr unter dem Mikroskop sieht. Ich bringe hier z. B. ganz verdünnte Milch in den Trog und halte ihn in den Lichtstrahl. Sie sehen, daß das runde Lichtbild des Diaphragmas ganz scharf bleibt und nur eine gelbe

bis rote Farbe annimmt. Etwas diffuses Licht ist auch zu bemerken, das rührt jedenfalls von gröberen Teilchen her, die neben den submikroskopisch kleinen vorhanden sind. Beugungsringe sind nicht mehr zu sehen. Das entspricht dem, was wir vorher an dem ganz engen Spalt gesehen haben. So wie dieser ein breites Lichtbündel liefert, ohne Beugungsstreifen, so gibt ein sehr kleiner undurchsichtiger Körper einen breiten diffusen Schatten, ohne Beugungsringe. Auch bei der Besprechung der Beugungsgitter haben wir bemerkt, daß sehr feine Trübungen schließlich wie durchsichtige Körper aussehen. Sehr beachtenswert ist aber, daß das Licht des Bildes nach Einschalten eines trüben Mediums nicht einfach ein geschwächtes Weiß ist, sondern eine Farbe annimmt, nämlich gelb bis rot. Dies ist die Farbe, die auch die untergehende Sonne zeigt. Die durchsichtige Atmosphäre gehört zu den trüben Medien dieser Gattung. Auch die Lösungen von Eiweißstoffen, so z. B. Leim oder Gelatine, zeigen die gleichen Eigenschaften. Man unterscheidet sie von den gewöhnlichen klaren Lösungen der Salze, des Zuckers usw. als kolloidale Lösungen. Solche kolloidale Lösungen kennt man auch von den meisten Metallen. Von diesen ist schon oben (S. 46) einmal die Rede gewesen. Ich kann Ihnen als Beispiel eine tiefrote und eine tiefblaue Goldlösung zeigen, ferner ein schön rubinrot gefärbtes Glas, das auch durch Gold in kolloidalem Zustand diese Farbe bekommen hat. Diese kolloidalen Goldpräparate zeigen, daß man durch besondere Arten von Trübung auch andere Färbungen bekommen kann, als die gewöhnliche gelbrote.

Alle trüben Körper lassen einen durch sie hindurchgehenden Lichtstrahl deutlich erkennen, indem die feinen trübenden Partikelchen von ihm zum Leuchten erregt werden. Ich sage absichtlich nicht: die Partikelchen reflektieren das Licht. Denn wir wissen ja schon, daß bei den submikroskopisch kleinen Körperchen die gewöhnlichen Vorstellungen von Schatten, Reflex, Brechung überhaupt nicht mehr anwendbar sind. Lord Rayleigh hat zuerst die Theorie dieser trüben Medien entwickelt, indem er lehrte, daß die kleinen Partikelchen durch die Lichtschwingungen selber zu Schwingungen veranlaßt werden, die dann eine Lichtemission zur Folge haben, sie werden durch das auffallende Licht, wie man sagt, zu Oszillatoren. Es geht etwa so, wie auch kleinere Gegenstände durch gewaltige auftreffende

Schallwellen gezwungen werden, mitzuschwingen und deswegen, allerdings sehr schwache, Wellen von derselben Tonhöhe aussenden. So ist das seitlich ausgestrahlte Licht der trüben Medien auch sehr schwach gegen das durchgehende Licht. Lord Rayleigh zeigte nun, daß die Teilchen, wenn die ihnen eigene Schwingungszahl zu hoch ist, als daß Resonanzerscheinungen eintreten könnten, hauptsächlich blaue und violette Strahlen aussenden, aber sehr wenig rote. Er fand nämlich, daß die Teilchen von dem blauen und violetten Licht durchschnittlich zehnmal so viel als von dem roten, von dem gelben und grünen etwa zwei- bis viermal so viel als von dem roten auffangen und nach den seitlichen Richtungen ausstrahlen. Damit ist erklärt, warum ein trüber Körper gegen einen dunklen Hintergrund blau aussieht, während das hindurchgehende Licht, wie wir schon sahen, eine rotgelbe Färbung bekommt. Die theoretischen Berechnungen Lord Rayleighs sind durch Messungen gut bestätigt.

Daß die kolloidalen Metallösungen ganz andere Farben zeigen, als die gewöhnlichen trüben Körper, liegt an den besonderen optischen Eigenschaften der Metalle. Sie zeigen nämlich gegen die verschiedenen Lichtarten ein sehr stark selektives Verhalten, gewisse Farben absorbieren sie stark, andere strahlen sie besonders stark zurück. In den roten Goldlösungen findet beispielsweise eine sehr starke Absorption des grünen Lichtes durch die Goldteilchen statt, dagegen beobachtet man an den blauen meistens eine abnorm starke seitliche Ausstrahlung von gelbrotem Licht. Die Rayleighsche Theorie, von der wir eben sprachen, gilt nur für Partikelchen aus solchen Stoffen, die weder besonders stark absorbieren, noch reflektieren, die also in Form eines gröberen Pulvers weiß oder nur schwach gefärbt aussehen würden. Die meisten Stoffe gehören hierher.

Polarisation des Lichtes.

Ein eigentümliches Verhalten zeigt das seitlich ausgestrahlte Licht trüber Medien, wenn man sog. polarisiertes Licht hindurchgehen läßt. Man bekommt polarisiertes Licht, wenn man einen gewöhnlichen Lichtstrahl durch einen Kristall gehen läßt. Ich projiziere ein rundes Diaphragma auf den weißen Schirm und halte nun ein Spaltstück eines Kalkspatkristalls in das Lichtbündel zwischen Diaphragma und Schirm. Sie sehen, daß sich das Bild verdoppelt. Und zwar ist das eine Bild

in der Mitte des Schirmes geblieben, wo es lag, ehe ich den Kalkspat hineinhielt, das andere ist seitlich herausgerückt. Drehe ich das Kristallstück um eine zum Lichtstrahl parallele Achse, so dreht sich das zweite Bild um das erste wie der Mond um die Erde.

Wir sehen also zunächst folgendes: Das Kristallstück bricht den Lichtstrahl in zwei verschiedene Strahlen auseinander. Und zwar geht in unserem Falle der eine Lichtstrahl durch die Kalkspatplatte gerade hindurch, gerade so, wie Licht durch eine Platte von Glas oder von einem anderen nichtkristallisierten Körper gehen würde, der andere Lichtstrahl dagegen wird in dem Kristall abgelenkt, er befolgt ein Brechungsgesetz, das wir bei amorphen Körpern niemals treffen. Dieses verschiedene Verhalten der beiden Strahlen ist, wie wir gleich sehen werden, nicht sehr wichtig, und man findet bei anderen Kristallen auch oft beide Strahlen anders gehend als in amorphen Körpern, aber wir können es bequem benutzen, um die beiden Strahlen sofort voneinander zu unterscheiden. Wir nennen, wie es herkömmlich ist, den Strahl, der wie bei amorphen Körpern gerade hindurchgeht, den ordentlichen Strahl, dagegen den schief abgelenkten den außerordentlichen Strahl.

Ich will Ihnen nun zeigen, daß diese beiden Strahlen nicht mehr gewöhnliches Licht sind, daß vielmehr eine neue Art von Licht hier vor unseren Augen entstanden ist, ohne daß wir es auf den ersten Blick sehen. Ich blende den außerordentlichen Strahl durch ein Stück schwarzes Papier ab, damit wir unsere Aufmerksamkeit zunächst auf den ordentlichen Strahl ganz konzentrieren können. Ich werde jetzt in diesen Strahl eine zweite Kalkspatplatte bringen, die ich so halten will, daß ihre Flächen alle den entsprechenden der ersten parallel sind. Sie würde also mit der ersten zusammen, wenn ich sie in dieser Lage unmittelbar daran hielte, gewissermaßen ein einziges Spaltstück bilden. Sie sehen nun, daß die zweite Kalkspatplatte, wenn sie so orientiert ist, den ordentlichen Strahl nicht noch einmal spaltet, sondern ihn einfach, wie ein Stück Glas, passieren läßt. Damit ist bewiesen, daß wir hier nicht mehr gewöhnliches Lampenlicht, sondern eine besondere Art vor uns haben, wir nennen sie „polarisiertes Licht“. Um die Eigenart dieses Lichtes genauer kennen zu lernen, drehe ich die zweite Kristallplatte um eine zum Lichtstrahl parallele Achse. Sie bemerken, wie neben

dem hellen Mittelkreis jetzt schief daneben zunächst ein ganz schwach leuchtender Trabant auftaucht. Also bei einer kleinen Verdrehung wird auch der polarisierte Strahl in zwei auseinander gebrochen, einen starken ordentlichen und einen schwachen außerordentlichen Strahl. Ich drehe nun weiter, Sie sehen, wie der Trabant stärker wird auf Kosten des Mittelkreises. Sie werden beide gleich hell, wenn die zweite Platte gerade um die Hälfte eines rechten Winkels gegen die Anfangslage verdreht ist. Drehe ich noch weiter, so wird der Mittelkreis immer dunkler, der Trabant heller. Schließlich verschwindet der Mittelkreis gänzlich und alles Licht geht als außerordentlicher Strahl durch die zweite Platte. Das tritt ein, wenn ich die zweite Platte im ganzen genau um einen rechten Winkel gedreht habe.

Durch dieses einfache Experiment ist bewiesen, was ich erst schon vorläufig behauptete, daß ordentlicher Strahl und außerordentlicher Strahl nicht zwei wesentlich verschiedene Lichtarten sind. Denn dasselbe Licht, das erst als ordentlicher Strahl durch die zweite Platte ging, passierte sie nachher als außerordentlicher Strahl. Ich nehme nun die zweite Platte für einen Augenblick weg und verschiebe das schwarze Papier, das den außerordentlichen Strahl des ersten Kristalls abgeblendet hat, so, daß dieser jetzt auf den Schirm fallen kann, daß dagegen der ordentliche Strahl abgeblendet ist. Sie sehen jetzt nur den seitlich abgelenkten Lichtkreis, der sich bei einer Drehung der Kalkspatplatte mit dreht. Jetzt halte ich wieder die zweite Platte vor, zunächst parallel mit der ersten orientiert. Sie sehen: der Strahl wird nicht weiter zerlegt, aber der Kreis rückt noch mehr aus der Mitte heraus. Der Strahl kommt also aus der zweiten Platte als außerordentlicher Strahl. Drehe ich, so erscheint zunächst ganz schwach an der Stelle, die der Kreis ohne die zweite Platte einnahm, das „Mittelbild", um das sich der andere Kreis dreht. Das Mittelbild wird immer stärker, je weiter die zweite Platte aus ihrer anfänglichen Orientierung herausgedreht wird, und, sobald der Winkel voll ein Rechter geworden ist, ist das Mittelbild nur noch allein vorhanden. Das Licht geht nun durch die zweite Platte als ordentlicher Strahl.

Wir können das Ergebnis dieser beiden Versuche vorläufig in folgenden kurzen Satz zusammenfassen: *Der außerordent-*

liche Strahl verhält sich genau so, wie ein ordentlicher Strahl, den man um eine zu seiner eigenen Fortpflanzungsrichtung parallele Drehungsachse um einen rechten Winkel gedreht hat. Diese Drehung des Lichtstrahls um seine eigene Richtung hat man natürlich dadurch auszuführen, daß man die Kristallplatte durch die er hindurchgeht, um die Richtung des Strahles dreht, wie ich es eben mehrmals getan habe.

Wir wollen nun die beobachteten Erscheinungen durch genau angepaßte Begriffe darstellen. Wir sagen: Ein Lichtstrahl heißt polarisiert, wenn er durch eine doppelbrechende Kristallplatte bei einer bestimmten Orientierung nicht mehr in zwei Strahlen auseinander gebrochen wird.

Für verschiedene polarisierte Lichtstrahlen sind die dazu gehörenden Orientierungen der Kristallplatte im allgemeinen auch verschieden. Wir werden also die Art der Polarisation danach zu unterscheiden haben. Nun hat ein Kalkspatkristall (vgl. Fig. 5 S. 32), eine dreizählige Symmetrieachse, die man auch kurz seine Achse nennt. In den Platten, die ich vorhin brauchte, liegt diese Achse schief zur Begrenzungsebene. Wenn man nämlich aus einem Kalkspatkristall eine Platte so herausschneidet, daß die Achse senkrecht zur Begrenzungsebene steht, dann zeigt sie keine Doppelbrechung. Werden nun unsere Kalkspatplatten um die Richtung des Lichtstrahls gedreht, dann wird auch immer ihre Achse gedreht, und zwar beschreibt die Achse dabei einen Kegel. Wir können also vollkommen angeben, wie die Platte orientiert ist, wenn wir die Lage der Achse angeben. Wir nennen die Ebene, in der beide, Lichtstrahl und Achse liegen, die Hauptebene der Platte. Bezeichne ich die Lage der Hauptebene an meinen beiden Platten durch einen Strich auf der Fassung, so brauche ich nur diesen Strich anzusehen, um zu wissen, wie die Platte orientiert ist.

Um zu prüfen, wie ein Lichtstrahl polarisiert ist, läßt man ihn durch eine Kalkspatplatte senkrecht hindurchgehen und dreht diese so lange bis der Lichtstrahl nicht mehr doppelt gebrochen wird, sondern als ordentlicher Strahl hindurchgeht. Diejenige Ebene, mit der sich dann die Hauptebene

der Kalkspatplatte deckt, nennt man die Polarisationsebene des Strahles.

Wir können jetzt sagen: ordentlicher und außerordentlicher Strahl unterscheiden sich nur dadurch, daß ihre Polarisationsebenen aufeinander senkrecht stehen.

Es ist nun ein ganz allgemeiner Erfahrungssatz, daß das physikalische Verhalten eines polarisierten Lichtstrahls vollkommen charakterisiert ist, wenn man die Lage seiner Polarisationsebene angibt. Wir können sagen, ein polarisierter Lichtstrahl besitze die Symmetrieeigenschaften eines Papierstreifens. Ein Papierstreifen hat nicht nur eine Längsrichtung, sondern auch noch eine seitliche. Die Papierebene können wir direkt mit der Polarisationsebene vergleichen. Ein Schallstrahl zeigt unter keinen Umständen Polarisationserscheinungen, das folgt aus der Natur der Schallwellen schon als selbstverständlich. Ein Schallstrahl hat die Symmetrie eines runden Stabes, den man um seine Längsachse drehen kann, ohne daß sich sein Bild ändert. Wellen an denen man nur eine Längsrichtung bemerkt, nennt man Longitudinalwellen. Wellen, die noch eine charakteristische Richtung quer zur Fortpflanzungsrichtung aufweisen, nennt man Transversalwellen. Wasserwellen sind nach dieser Definition eine Art Transversalwellen, denn sie zeigen außer der Fortpflanzungsrichtung noch quer dazu einen Unterschied zwischen den Richtungen vertikal und horizontal. Man kann alle Erfahrungen über das polarisierte Licht zusammenfassen in dem Satz: Polarisiertes Licht besteht aus Transversalwellen.

Nun erhebt sich aber sofort die Frage: Was ist denn das gewöhnliche Licht? Da es keine seitlichen Unterschiede zeigt, müßten wir es nach der eben aufgestellten Definition als Longitudinalwellenart bezeichnen. Das geht sicher nicht an. Denn in der Hauptsache zeigen ja polarisiertes Licht und gewöhnliches Licht gleiche Eigenschaften. Im allgemeinen wird auch ein polarisierter Lichtstrahl in ganz derselben Weise wie gewöhnliches Licht von der Kalkspatplatte in zwei Strahlen zerlegt, von denen der eine in der Hauptebene, der andere senkrecht dazu polarisiert ist. Nur haben diese beiden Strahlen, im Gegensatz zum Verhalten des gewöhnlichen Lichtes, im allgemeinen verschiedene Intensität und bei einzelnen Stellungen der Platte verschwindet der eine Strahl ganz. Gewöhnliches Licht kann also nicht prinzipiell vom polarisierten Licht verschieden

sein, es verhält sich vielmehr genau so, als ob es aus ungeheuer vielen polarisierten Lichtstrahlen gemischt wäre, die alle eine andere Richtung der Polarisationsebene haben. Dadurch kommt es, daß man keine bestimmte Ebene an ihm erkennen kann, und es täuscht uns gewissermaßen die Natur einer Longitudinalwelle vor. Diese Mischung aus sehr vielen verschieden polarisierten Lichtstrahlen kann man sich am besten so vorstellen, daß der Strahl in ungeheuer kurzen Zeiträumen nacheinander alle möglichen Polarisationsebenen annimmt. Man kann schätzungsweise sagen, daß er in einer Sekunde einige Millionen Male die Polarisation wechselt. In ähnlicher Weise täuschen, wie wir schon gesehen haben, die Moleküle der greifbaren Materie Ruhe vor, indem sie ihre Bewegungsrichtung so ungeheuer oft ändern.

Wir sagen demnach kurz: Das Licht besteht in Transversalwellen.

Damit haben wir eine ganz außerordentlich wichtige Aussage über die Zustandsgröße gewonnen, deren periodische Änderung unsere Augennerven zur Lichtempfindung erregt. Diese Zustandsgröße muß nämlich eine gerichtete Größe sein, sie muß außer der Quantität auch noch eine Richtung quer zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtstrahls haben, etwa so wie eine Kraft nicht nur mit einer gewissen Stärke, sondern auch in einer gewissen Richtung wirkt. Schallwellen, das wissen wir, sind periodische Änderungen der Dichtigkeit der Luft. Weil die Dichtigkeit nur einen Zahlenwert darstellt, deswegen können wir an den Schallwellen außer der Fortpflanzungsrichtung keine andere Richtung bemerken, deswegen kann man sie nicht polarisieren. Was mag das wohl für ein gerichteter Zustand sein, der die Lichtwellen bildet? Erst die neuere Zeit hat uns darüber aufgeklärt, und ich werde es im folgenden noch zu besprechen haben. Es sei aber schon hier vorläufig bemerkt, daß dieser Zustand kein anderer ist, als der der elektrischen Spannung. Mit einem Wort: der Lichtstrahl ist ein schnell durch den Raum fortgepflanztes elektrisches Wechselfeld. Der elektrischen Spannung kommt außer einem Zahlenwert auch eine bestimmte Richtung zu, und die Polarisationsebene eines Lichtstrahls gibt an, welche Richtung die Spannungslinien des periodisch wechselnden Feldes haben. Man hat durch mancherlei Untersuchungen, die ich hier nicht auseinandersetzen

kann, konstatiert, daß die elektrische Spannung senkrecht gerichtet ist zur Polarisationsebene.

Ich habe nun alles, was wir für das Folgende wissen müssen, vorausgeschickt, und wir wollen jetzt den trüben Körper mit polarisiertem Licht beleuchten. Wie gewinnen wir polarisiertes Licht? Nun, einfach, indem wir gewöhnliches Licht durch ein Kristallstück gehen lassen, das gleich mit einer Vorrichtung versehen ist, die den einen der beiden Lichtstrahlen im Kristall abblendet. Ein so eingerichtetes Kristallstück nennt man einen Polarisator oder nach seinem Erfinder ein Nicolsches Prisma. Man nimmt dazu Kalkspat, weil dieser die beiden Strahlen besonders weit voneinander trennt, so daß das Abblenden des einen keine Schwierigkeit macht. Das Licht, das aus einem Nicolschen Prisma kommt, hat also eine bestimmte Polarisationsebene, eine bestimmte Richtung des elektrischen Wechselfeldes. Ich habe an die Fassung des Nicols, mit dem ich nun experimentieren will, einen schmalen Zeiger angeklebt, dessen Richtung Ihnen die Richtung der elektrischen Schwingungen angeben soll. Wenn wir durch das Nicolsche Prisma hindurchsehen, so bemerken wir, daß gewöhnliches Licht sich nicht ändert, wenn wir das Prisma um seine Längsachse drehen. Ist aber das Licht, das den Nicol passiert, schon polarisiert, so erscheint es beim Drehen desselben bald hell, bald dunkel. Steht die durch den angeklebten Zeiger markierte Richtung auf der Schwingungsrichtung des auffallenden Lichtes senkrecht, dann wird es im Nicol völlig abgeblendet, wir sehen vollständige Dunkelheit. Sind die beiden Richtungen identisch, so geht im Nicol nichts verloren, wir haben größte Helligkeit. Dazwischen gibt es dann alle Übergangsstufen. Wir können also, wenn wir durch ein Nicolsches Prisma sehen, nicht nur sofort erkennen, ob Licht polarisiert ist, sondern sogar auch seine Schwingungsrichtung feststellen. Wenn man es so braucht, nennt man das Nicolsche Prisma einen Analysator.

Ich bringe nun zwischen die trübe Lösung und die elektrische Lampe einen Nicol und drehe ihn um seine Achse. Sie werden alle bemerken, daß die trübe Lösung bald hell aufleuchtet, bald dunkel erscheint. Dunkelheit sehen Sie immer dann, wenn der Zeiger an meinem Nicolschen Prisma gerade auf Sie hinzeigt, d. h.: Ein von polarisiertem Licht getroffenes trübes Partikelchen strahlt in der Richtung, in der dieses Licht

schwingt, kein seitliches Licht aus. Die größte Helligkeit sehen Sie, wenn der Zeiger gerade auf ihrer Sehrichtung senkrecht steht. Also: Das meiste Licht sendet ein trübendes Partikelchen nach den Richtungen hin, die auf der Schwingungsrichtung des auftreffenden Lichtstrahls senkrecht stehen. Würden Sie das seitlich ausgestrahlte Licht gleichzeitig mit einem Nicolschen Prisma untersuchen, so würden Sie konstatieren, daß es polarisiert ist, und zwar liegt die Schwingungsrichtung in der Ebene, die durch den Strahl und die Schwingungsrichtung des durch den trüben Körper hindurchgehenden Lichtes bestimmt ist. Ich habe diese Gesetzmäßigkeiten versucht, durch Fig. 19 anschaulich zu machen. Die beiden Pfeile im Innern des Kreises, der den Durchschnitt des trübenden Partikelchens andeuten soll, bedeuten die Schwingungsrichtung des auftreffenden Lichtes, das das Partikelchen sozusagen zum Leuchten erregt. Von dem Partikelchen radial ausgehend, habe ich Strahlen gezeichnet, die das seitlich ausgestrahlte Licht bedeuten sollen, und quer durch jeden Strahl habe ich eine kleine Strecke gezogen, die die Schwingungsrichtung und durch ihre Größe auch zugleich die Intensität dieses Lichtes angibt. Diese durch Fig. 19 dargestellte Strahlung ist genau die eines kleinen Körperchens, in welchem eine elektrische Schwingung stattfindet in der Richtung der erregenden Schwingungen des auftreffenden Strahles. Es ist also ganz das, was die Theorie Lord Rayleighs behauptet.

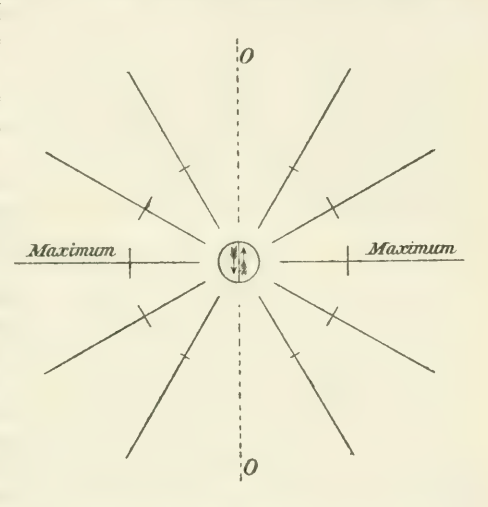


Fig. 19.
Strahlung eines kleinen elektrischen Oszillators.

Wenn wir auf das trübe Medium in einer Richtung blicken, die auf dem auftreffenden Lichtstrahl genau senkrecht

steht, dann schwingt das von den Partikelchen ausgesendete Licht stets in der zum auftreffenden Lichtstrahl senkrecht stehenden Ebene, wie die Polarisationsrichtung dieses Lichtstrahls auch liegen mag. Denn jedenfalls liegt sie immer in dieser Ebene. Daraus folgt, daß das senkrecht zum Lichtstrahl seitlich ausgestrahlte Licht stets in dieser Ebene schwingt, auch wenn wir gewöhnliches Licht nehmen, d. h. ganz regellos polarisiertes. Das ist in der Tat etwas, was man an trüben Medien immer beobachtet. Ich habe schon erwähnt, daß die anscheinend klare Atmosphäre zu unserer Klasse trüber Medien gehört, was man aus der Farbe der untergehenden Sonne erkennt. Das seitlich von ihr ausgestrahlte Licht ist das Himmelslicht. Der beste Beweis hierfür ist, daß das Himmelslicht polarisiert ist, gerade so, wie bei allen trüben Medien. Und zwar ist das Licht, welches von einer Stelle der zu den Sonnenstrahlen senkrechten Zone des Himmels kommt, vollständig polarisiert.

Sichtbarkeit der trübenden Körnchen.

Es kann kein Zweifel bestehen: Trübe Medien der jetzt besprochenen Art, unter ihnen auch die kolloidalen Lösungen, enthalten suspendiert äußerst kleine Partikelchen, die bei Bestrahlung selbst wie kleine Sterne leuchten. Wie wir schon auf S. 46 erwähnt haben, sind diese Sternchen zum erstenmal von S i e d e n t o p f und Z s i g m o n d y direkt beobachtet worden, indem sie das trübe Medium von der Seite her beleuchteten. In den festen Körpern, wie Goldrubinglas, kann man, weil hier keine Brownsche Molekularbewegung zu sehen ist und die Teilchen anscheinend ruhig liegen, zählen, wie viel Sterne auf jeden Kubikzentimeter des trüben Körpers kommen. Da man nun durch chemische Analyse feststellen kann, wie groß die Menge des trübenden Stroffes in jedem Kubikzentimeter im ganzen ist, so kann man die Größe eines einzelnen Partikelchens im Durchschnitt berechnen. Siedentopf und Zsigmondy fanden so, daß die Goldstäubchen, die dem Rubinglas seine prächtige Farbe geben, einen Durchmesser von nur 10 bis 20 $\mu\mu$ haben.

Die Materie als trübes Medium.

Diese letzten Beobachtungen und Überlegungen führen nun unweigerlich zu dem Schluß, daß alle Materie, wenn sie aus kleinsten Teilchen aufgebaut ist, trübe sein muß. Wenn sie auch

kein trüber Körper von der Klasse ist, der wir die Wolken oder den Lehm zuzählen, so gehört sie doch zu den ganz fein getrübten Körpern, wie kolloidale Lösungen usw. Und doch ist sie gegen diese so klar durchsichtig!

Nun, Lord Rayleighs Berechnungen haben, was ich bisher noch nicht zu erwähnen brauchte, ergeben, daß, wenn eine gegegebene Stoffmenge in einem gegebenen Volumen als ganz feine Trübung vorhanden ist, das seitlich ausgestrahlte Licht um so schwächer wird, je feiner der trübende Stoff zerteilt ist. In der Tat sehen kolloidale Goldlösungen bei gleicher Färbung um so weniger trübe aus, je kleiner die suspendierten Goldteilchen sind. An den allerfeinsten Suspensionen sieht man schließlich kaum noch seitlich zerstreutes Licht, so daß sie wie gewöhnliche Lösungen eines roten Farbstoffs erscheinen. Man kann abschätzen, was für eine Trübung durch die molekulare Zerteilung, deren Feinheit wir ja mit der Loschmidtschen Zahl ungefähr kennen, hervorgebracht wird. Und es ergibt sich, daß wegen der ungeheuren Anzahl der Moleküle, aus denen sich der Stoff aufbaut, das Licht, das sie seitlich ausstrahlen, so schwach ist, daß man es im allgemeinen nicht bemerken kann. Deswegen sehen reine Körper also klar und durchsichtig aus. Um die Trübung wahrzunehmen, müßte man schon in einem ganz dunklen Raum, wo das Auge sehr empfindlich ist, Versuche mit Körpern anstellen, in die man von der Seite her sehr intensives Licht fallen läßt, das man, nachdem es hindurchgegangen ist, sorgfältig durch schwarze Gegenstände vernichtet. So könnte das Auge wohl das schwache seitlich ausgestrahlte Licht wahrnehmen. In der Tat hat Tyndall durch sehr aufmerksame Beobachtung an dem allerreinsten und klarsten Wasser, das er sich verschaffen konnte, stets seitlich ausgestrahltes Licht wahrgenommen, das die von Lord Rayleigh aufgestellten Gesetzmäßigkeiten befolgt. Ob das Trübende hier wirklich die Moleküle waren, oder äußerst feine Fremdkörper, die man durch alle Vorsichtsmaßregeln nicht hatte wegschaffen können, ist wohl nicht ganz sicher zu sagen, doch ist die größere Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein ganz feiner Fremdkörper. Einen Stoff aber gibt es, an dem jeder die feine Trübung, von der wir sprechen, täglich beobachtet. Das ist die klare atmosphärische Luft. Hier sind nämlich alle Umstände einer Beobachtung besonders günstig. Wir sehen sie gegen einen

absolut dunklen Raum, durchstrahlt von dem hellsten Licht, das uns zur Verfügung steht: dem Sonnenlicht. Ferner ist die Dicke der Schicht viele Kilometer, so daß die Zahl der Moleküle groß genug ist, um im ganzen ein Licht zu geben, das auch durch die Reflexlichter der Gegenstände um uns her nicht überschrien wird. Wir beobachteten also an der Atmosphäre, auch wenn sie uns, wie das auf den hohen Bergen der Fall ist, noch auf hunderte von Metern absolut klar erscheint, immer das Licht der trüben Körper, nämlich das Himmelslicht. Mannigfaltige Messungen haben gezeigt, daß das Himmelslicht sowohl seiner Farbe nach, als auch nach seinem Polarisationszustand die Rayleighschen Gesetze befolgt. Natürlich können in der Atmosphäre sehr wohl trübende Fremdkörperchen, als feinster Staub, vorhanden sein. Aber, da wir aus so vielen Gründen von der molekularen Konstitution der Körper überzeugt sind und da wir in Übereinstimmung mit den theoretischen Forderungen aus dieser Ansicht auch in der reinsten Atmosphäre stets das Himmelslicht sehen, so ist es wohl nicht unberechtigt, wenn wir, wenigstens der Hauptsache nach, den Molekülen der Luft selber diese seitliche Ausstrahlung zuschreiben. Unter der Annahme, daß die Strahlung feinster Fremdkörperchen an sehr klaren Tagen gegen die der Luftmoleküle verschwindend klein ist, haben Lord Rayleigh und Lord Kelvin nach der Rayleighschen Theorie, die ja angibt, wie die Stärke der Strahlung von der Zerteilung des trübenden Stoffes abhängt, aus Beobachtungen über die Stärke des Himmelslichtes die Loschmidtsche Zahl berechnet. Aus den besten vorliegenden Beobachtungen, die in Potsdam gemacht sind, bekommt Lord Kelvin $N = 24{,}7$ Trillionen. Sicher ist diese Zahl etwas zu klein, weil die Intensität des Himmelslichtes infolge der Trübung durch Staubkörnchen usw. etwas größer gefunden wird, als sie in einer absolut reinen Atmosphäre wäre, die bei der Berechnung angenommen wurde. Nun ist aber die Intensität des ausgestrahlten Lichtes nach der Rayleighschen Theorie um so größer, je gröber die Zerteilung des trübenden Stoffes ist. Wir haben also die Zerteilung zu grob, d. h. N zu klein berechnet.

Wenn es nun richtig ist, daß die Moleküle im Licht aufleuchten, wie die feinen Partikelchen trüber Medien, könnte man da nicht hoffen, sie nach der Methode von Siedentopf und Zsigmondy einmal direkt einzeln zu sehen? Eine Schwierigkeit

wäre jedenfalls die, daß man bei so kleinen Partikelchen, wie es die Moleküle sind, kolossale Lichtintensitäten anwenden müßte, um ein wahrnehmbares Leuchten zu erreichen. Aber selbst, wenn uns das gelänge, würden wir die Moleküle nicht sehen. Auch in den verdünntesten Gasen, wie sie z. B. in Röntgenlampen vorhanden sind, wären die Moleküle noch viel zu dicht beieinander, als daß man sie mit dem Mikroskop voneinander trennen könnte. Man würde keine Sterne sehen, sondern eine „Milchstraße".

Es wäre vielleicht möglich, daß bei manchen chemischen Vorgängen einzelne Moleküle aufleuchten, nämlich in den phosphoreszierenden und fluoreszierenden Körpern. Wenn das so ist, so könnte uns hier vielleicht das Mikroskop, in dem wir die Moleküle aufblitzen sehen, eine schwache Kunde von einzelnen Vorgängen in dieser Mikrowelt vermitteln, so wie uns am Himmel das plötzliche Aufleuchten und das Verschwinden der „neuen Sterne" eine leise und unbestimmte Nachricht von einzelnen Vorgängen in dem ungeheuren Weltraum gibt.

---

4. Die Atome.

Wir haben bisher die Moleküle meistens verglichen mit den einzelnen Körnern, aus denen sich ein Sandstein zusammensetzt. Indessen lehren die Beobachtungen, daß dieses einfache Bild nicht ganz zutreffend sein kann. Wir haben schon öfters erwähnt, daß die Resultate, die die Molekulartheorie unter der einfachen Annahme herleitet, daß die Moleküle sich wie elastische Bälle verhalten, im allgemeinen nicht genau mit den beobachteten Tatsachen übereinstimmen. Man kann aus den Messungen deutlich sehen, daß die Moleküle im allgemeinen in mehrere bewegliche Teile gegliedert sind.

Umkehrung chemischer Verwandlungen.

Diese Ansicht wird auch durch die Chemie bestätigt. Wir wollen uns jetzt mit zwei ganz allgemeinen Erfahrungssätzen beschäftigen, die die Grundlage der ganzen Chemie bilden. Der erste ist:

Wenn man aus zwei oder mehr chemisch einheitlichen Stoffen durch geeignete Prozesse einen

einzigen chemisch einheitlichen Stoff gewinnen kann, ohne daß dabei andere Körper chemisch geändert werden, so kann man umgekehrt aus dem neuen Stoff auch immer wieder die ursprünglichen Stoffe in derselben Menge, in der sie früher vorhanden waren, herstellen, ohne daß dabei andere Körper chemisch geändert werden.

Ich habe zwei Gasbehälter aufgestellt, in dem einen ist Wasserstoff, im anderen Sauerstoff. Lasse ich die beiden Gase in ein kleines Messingrohrstück, den Brenner, eintreten, so mischen sie sich darin und es strömt aus dem Brenner vorne das Gemisch, Knallgas, heraus, das sich leicht entzünden läßt. Das Knallgas ist kein chemisch einheitlicher Körper. Kühlt man es z. B. sehr stark ab, indem man es in flüssige Luft hineinbringt, dann kondensiert sich der Sauerstoff zu einer Flüssigkeit, und es bleibt gasförmig der Wasserstoff zurück. Ich zünde nun das aus dem Brenner ausströmende Knallgas an. Die Flamme, die Sie sehen, ist ein sog. Knallgebläse, in ihr werden so ziemlich die höchsten Temperaturgrade erreicht, die wir überhaupt kennen. Es geht hier eine sehr gründliche Veränderung der Materie vor sich. Sammeln wir das Gas, das aus der Flamme hervorgeht — wir könnten das z. B. so machen, daß wir sie in einem abgeschlossenen evakuierten Raum brennen lassen —, so finden wir einen neuen chemisch einheitlichen Körper, wenn wir die Gaszufuhr so geregelt haben, daß auf 1 l Sauerstoff immer 2 l Wasserstoff gekommen sind. Dann werden in der Knallgasflamme Sauerstoff und Wasserstoff beide vollständig vernichtet und dafür entsteht ein neuer Stoff, der vorher nicht war. Dieser neue Stoff ist: reiner Wasserdampf, beim Abkühlen kondensiert er sich zu reinem Wasser, das ganz genau dieselben Eigenschaften hat, wie das von irgend einem Brunnenwasser destillierte. Ich will nun mit einem Wasserquantum, das ebensogroß sei, wie das in der geschilderten Weise im Knallgasgebläse gewonnene, eine 10prozentige Schwefelsäure etwas weiter verdünnen und sie in ein U-Rohr füllen, dessen beide Schenkel oben mit Hähnen verschlossen sind und unten je ein Platinblech enthalten, von dem ein Draht nach außen führt. Diese beiden Drähte will ich mit den Polen einer Elektrizitätsquelle verbinden. Sobald der elektrische Strom durch die verdünnte Schwefelsäure hindurchgeht, entwickelt sich auf beiden Seiten ein Gas, und zwar ist das

Volumen des auf der einen Seite entwickelten Gases immer doppelt so groß wie das auf der anderen Seite. Lasse ich das Gas, von dem das größere Volumen entsteht, gegen ein brennendes Streichholz strömen, indem ich den Hahn, der das U-Rohr oben verschließt, ein klein wenig öffne, so entzündet es sich; eine genaue Untersuchung aller Eigenschaften würde uns zeigen, daß es nichts anderes ist als Wasserstoff. Das andere Gas bringt ein glimmendes Streichholz, das ich vor den etwas geöffneten Hahn halte, zum hellen Brennen, alle seine Eigenschaften sind identisch mit denen des Sauerstoffs. Ich denke mir in einem solchen U-Rohr die mit dem zuerst gewonnenen Wasser verdünnte Schwefelsäure so lange dem elektrischen Strom ausgesetzt, bis genau das Quantum Sauerstoff, das vorher im Knallgasgebläse verschwunden ist, wieder aufs neue erzeugt ist. Dann haben wir zugleich auch das vorher verschwundene Quantum Wasserstoff genau wieder gewonnen, denn durch den elektrischen Strom entsteht ja gleichzeitig mit jedem Liter Sauerstoff immer 2 l Wasserstoff. Ist das nun erreicht, so unterbrechen wir den elektrischen Strom und untersuchen die verdünnte Schwefelsäure. Wir werden dann finden, daß sie wieder genau 10% hat und in derselben Menge vorhanden ist, wie früher, ehe wir sie mit dem im Knallgasgebläse gewonnenen Wasser verdünnten. Das heißt also: Dieses Wasser ist jetzt wieder verschwunden, dafür aber sind die vorher verlorenen Mengen Wasserstoff und Sauerstoff wieder zum Vorschein gekommen, ohne daß sonst irgendwelche chemische Änderungen in den bei diesen Versuchen verwendeten Körpern eingetreten sind.

Ich will für den Satz nun noch ein komplizierteres Beispiel anführen. Wenn wir Schwefel mit Sauerstoff (z. B. den der Luft) zusammenbringen und entzünden, so verschwinden beide, indem sich eine bläuliche Flamme bildet, und es entsteht dafür ein stechend riechendes ziemlich schweres Gas, die sog. schweflige Säure, die wohl jedem wohlbekannt ist. Unter bestimmten Bedingungen aber kann auch ein ganz anderer Körper entstehen, nämlich die ebenfalls allbekannte Schwefelsäure. Man bekommt sie z. B. wenn reichlich Sauerstoff vorhanden ist und außerdem Wasser, und wenn sich in dem Verbrennungsraum das Metall Platin befindet in einer Form, die den umspülenden Gasen große Oberflächen darbietet. Bei der Bildung von Schwefelsäure verschwindet mehr Sauerstoff, als bei der Bildung

von schwefliger Säure, und außerdem Wasser. Ich will Ihnen nun zeigen, wie man aus Schwefelsäure, der bekannten, schweren öligen Flüssigkeit, den gelben festen Schwefel, den gasförmigen Sauerstoff und das reine Wasser wiederherstellen kann.

Ich gieße von der konzentrierten Schwefelsäure etwas in ein Kochfläschchen und will davon einen kleinen Teil verarbeiten. Zunächst werfe ich einige feine Feilspäne von reinem Kupfer hinein und verschließe die Flasche mit einem Kork, der von einer Glasröhre durchbohrt ist. Die Glasröhre ist in einem Bogen nach unten geführt und ich lasse sie in einen großen leeren

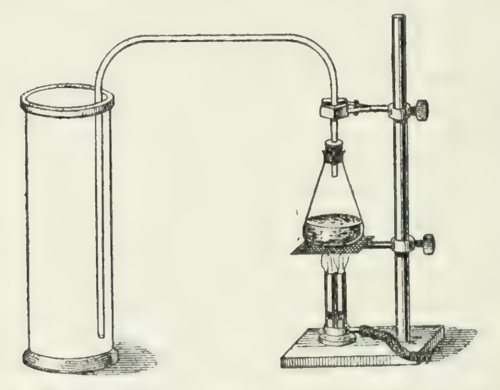


Fig. 20. Darstellung von schwefliger Säure aus Schwefelsäure.

Standzylinder hineintauchen bis nahezu auf den Boden (Fig. 20). Die Flasche befestige ich in einem Stativ und erhitze. Nach einiger Zeit beginnt nun eine Gasentwicklung an den Kupferspänen, und zwar lehrt der Geruch, daß dieses Gas schweflige Säure ist. Zugleich färbt sich die Flüssigkeit etwas grünlich, die Kupferspäne schwinden, und ein weißliches Pulver setzt sich am Boden der Flasche ab. Wenn wir nach Beendigung der Operation untersuchen würden, was in der Flasche ist, so würden wir finden, daß die grünliche Färbung von einem der Schwefelsäure beigemischten Körper herrührt, den wir völlig von ihr trennen können (z. B. durch Destillation). Der beigemischte Körper ist identisch mit dem Bodensatz, von dem sich also nur ein wenig in der Säure gelöst hat. Viel besser löst er sich

in Wasser und zwar mit einer prächtigen blauen Farbe: Es ist nichts anderes als Kupfervitriol. Ich gieße nun eine Lösung von Kupfervitriol in einen Glastrog, in welchen zwei Platinbleche eintauchen, die ich mit den beiden Polen einer elektrischen Stromquelle verbinden will. Sie sehen jetzt, wenn der Strom hindurchgeht, daß am einen Platinblech sich ein Gas ausscheidet. Dieses Gas ist Sauerstoff. Auf dem anderen Platinblech bildet sich ein Überzug aus einem rötlichen Metall, das ist reines Kupfer. Ich denke mir nun, daß der Strom so lange hindurchgeht, bis ebensoviel Kupfer hier entstanden ist, als beim vorhergehenden Versuch in der Kochflasche verzehrt wurde. Dann zeigt eine genauere Untersuchung der Lösung, daß in ihr dieselbe Menge Kupfervitriol verschwunden ist, als sich in jener Kochflasche gebildet hat, daß dafür aber Schwefelsäure entstanden ist, die wir durch geeignete Destillationen von dem Wasser und dem Kupfervitriol wieder trennen könnten. Wir haben nun also die Umwandlung des Kupfers in Kupfervitriol wieder rückgängig gemacht. In dem Zylinder, den wir inzwischen von dem Gasentwicklungsapparat entfernt und mit einer Glasscheibe zugedeckt haben, ist schweflige Säure. Diese schweflige Säure und der Sauerstoff, den wir an dem einen Platinblech aufsteigen sahen, sind also nur aus der Schwefelsäure hervorgegangen, ohne Änderung irgendeines anderen Körpers. Sie können sich leicht denken, daß es zwar mühsam aber doch prinzipiell nicht schwierig ist, diesen Vorgang quantitativ zu verfolgen. Prüft man die Mengen der reinen Schwefelsäure und des beigemengten Wassers in den Lösungen vor und nach Beendigung der chemischen Reaktionen, so findet man, daß etwas Schwefelsäure verschwunden ist und etwas Wasser sich neugebildet hat. Die verschwundene Menge der Schwefelsäure ist genau so groß als die, die man gewinnen würde aus den entstandenen Mengen der schwefligen Säure, des Sauerstoffs und des Wassers, nach dem oben geschilderten Verfahren (durch Berührung mit Platin). Nun handelt es sich nur noch darum, die schweflige Säure weiter rückwärts in Schwefel und Sauerstoff umzuwandeln. Ich will das ausführen, indem ich gleichzeitig ein anderes Gas, das ich hier vor Ihren Augen aus Schwefel herstellen will, zurückverwandle, nämlich den sog. Schwefelwasserstoff.

Um dieses Gas zu gewinnen, muß ich einen kleinen Um-

weg einschlagen. Ich mische fein gepulverten Schwefel und ein feines Pulver von reinem Eisen miteinander und bringe das Gemisch auf ein Porzellanscheibchen. Man kann die beiden Pulver jetzt noch leicht voneinander trennen, z. B. durch einen Magneten, der das Eisen wegnehmen würde. Nun erhitze ich mit einem Bunsenbrenner: zunächst schmilzt der Schwefel und verdampft auch ein wenig, kleine blaue Schwefelflämmchen huschen darüber hin. Dann beginnt die Masse an einer Stelle plötzlich zu erglühen, eine lange Flamme schießt hervor und erlischt gleich wieder. Auch wenn ich den Brenner jetzt wegnehme, verbreitet sich die Glut nach und nach über die ganze Masse, und noch mehrmals sehen wir das explosionsartige Hervorschießen von Flammen. Dabei wird die Hitze so groß, daß das Porzellanscheibchen, das ich ohne Gefahr in die Bunsenflamme halten konnte, in mehrere Scherben zerspringt. Der ganze Vorgang ist schnell vorbei und man sieht nun eine einheitliche schwärzliche Masse. Schwefel und Eisen sind nach dem energischen Umwandlungsprozeß ganz verschwunden, ein neuer Körper ist entstanden, das sog. Schwefeleisen. Ich werfe etwas von dem Schwefeleisen grob pulverisiert in ein Kochfläschchen, von dem ein Glasrohr (wie in Fig. 20) bis auf den Boden eines großen Zylinders führt und gieße etwas verdünnte Schwefelsäure darüber. Sofort beginnt ein lebhaftes Schäumen, das ich durch schwaches Erwärmen noch verstärken kann. Es entwickelt sich ein äußerst unangenehm riechendes Gas, Schwefelwasserstoff genannt, das sich in dem großen Zylinder ansammelt. Zugleich werden Schwefeleisen und Schwefelsäure aufgezehrt, indem sich ein neuer Stoff bildet, den man aus dem überschüssigen Wasser auskristallisieren lassen kann. Man bekommt so hellgrüne Kristalle von Eisenvitriol. Aus dem Eisenvitriol können wir durch Ausglühen die Schwefelsäure, die wir zu seiner Herstellung aufgewendet haben, wieder gewinnen. Ich bringe einige Kriställchen in einen feuerfesten Tiegel und wir wollen ihn unter dem Abzug glühen. Dabei wird von der Luft Sauerstoff aufgenommen und es entwickelt sich ein Dampf, den man durch eine geeignete Vorrichtung auffangen und in Wasser leiten kann. Wir bekommen dann in diesem Wasser Schwefelsäure. Das ist, nebenbei bemerkt, die älteste Art Schwefelsäure zu gewinnen, da Eisenvitriol auch in der Natur vorkommt. Machen wir den Versuch quantitativ, so finden wir,

daß sich genau dieselbe Menge Schwefelsäure zurückbildet, die in dem Kochfläschchen verschwunden ist, daß aber im ganzen ein gewisses Quantum Wasser verloren gegangen ist. An Stelle der Eisenvitriolkristalle findet man nach dem Ausglühen in dem Tiegel ein schönes ziegelrotes Pulver. Sie werden bemerken, daß dieses Pulver noch kleine Klumpen bildet von der Form der Kristalle, aus denen es entstanden ist. Dieses rote Pulver ist identisch mit dem Stoff, der aus dem braunen Eisenrost durch starke Erhitzung entsteht und der den Tonziegeln ihre rote Farbe gibt, man nennt es: Eisenoxyd. Legen wir es in eine Porzellanröhre, leiten Wasserstoff darüber und erhitzen stark, so verwandelt es sich in pulverförmiges reines Eisen, wie das, was ich vorhin mit Schwefelpulver mischte, um daraus Schwefeleisen zu gewinnen. Von dem übergeleiteten Wasserstoff verschwindet dabei ein Teil, und dafür entsteht Wasser. Wenn man alles sehr genau ausführt und quantitativ verfolgt, so bekommt man gerade diejenige Menge Eisen wieder, die zur Gewinnung des Quantums von Schwefeleisen verbraucht wurde, das in dem Kochfläschchen in Eisenvitriol umgewandelt ist. Dagegen bekommt man mehr Wasser zurück, als während der früheren Operationen verschwunden ist. Wir nehmen nun den Überschuß des Wassers und unterwerfen es der Wirkung eines elektrischen Stromes, die wir vorher kennen gelernt haben. Wir gewinnen so einen Teil des Wasserstoffs wieder, den wir zur Zurückgewinnung des Eisens aufgewendet haben, außerdem Sauerstoff, und zwar genau das Quantum, das beim Ausglühen des Eisenvitriols zugeführt worden ist. Nun haben wir alle Stoffe quantitativ genau wiederbekommen mit Ausnahme des Schwefels, den wir zur Gewinnung des Schwefeleisens opferten, und des größeren Teils des Wasserstoffs, mit dem wir das Eisen aus dem roten Pulver wiederherstellten. Dem Verschwinden dieser beiden Stoffe entspricht das Entstehen des Gases, das wir inzwischen in dem zweiten Zylinder aufgefangen und durch eine deckende Glasplatte abgesperrt haben. Um die Art der Entstehung anzudeuten, nennen wir das Gas Schwefelwasserstoff. Wir können noch einmal kurz resumieren: Um Schwefelwasserstoff zu gewinnen, haben wir aus Schwefeleisen reines Eisen abgeschieden, indem wir gleichzeitig Wasserstoff aufwendeten.

Nun nehme ich endlich die beiden Zylinder mit den eben

dargestellten Gasen und setze den einen auf den anderen, so daß die beiden Öffnungen einander gegenüber stehen. Entferne ich die trennende Glasplatte, so beginnen die beiden Gase sich zu vermischen. Da, wo sie sich treffen, bildet sich sofort eine dicke gelbliche Wolke, die allmählich immer mehr an Ausdehnung gewinnt, bis sie schließlich beide Zylinder erfüllen wird. Zugleich bemerke ich, daß der Gasdruck im Innern sich sehr verringert, der äußere Luftdruck preßt die Zylinder fest aufeinander. Ich schiebe den oberen Zylinder ein wenig beiseite und es strömt sofort durch die frei gewordene kleine Öffnung atmosphärische Luft in den Innenraum nach. Die Wände der Zylinder bedecken sich mit Feuchtigkeit und der gelbe Staub, der die Wolke bildet, wird sich nach und nach an ihnen festsetzen. Was haben wir also? Die Gase verschwinden, das merken wir an der Verminderung des Luftdrucks. Dafür bildet sich Schwefel, denn nichts anderes ist der gelbliche Staub, und Wasser. Oder da wir aus dem Wasser, wie wir schon gesehen haben, Wasserstoff und Sauerstoff gewinnen können, so können wir auch sagen: Schwefel, Wasserstoff, Sauerstoff gewinnen wir, während schweflige Säure und Schwefelwasserstoff sich gegenseitig vernichten. Verfolgen wir diesen Prozeß quantitativ, so finden wir, daß genau soviel Schwefel, Sauerstoff, Wasserstoff entsteht, als man verschwinden lassen müßte, um die vernichteten Mengen sowohl der schwefligen Säure als auch des Schwefelwasserstoffs wiederherzustellen.

Wir haben damit die Aufgabe, die wir uns anfangs stellten, gelöst: durch Vernichtung der Schwefelsäure, die uns gegeben war, ohne daß andere Stoffe verändert werden, den Schwefel, den Sauerstoff und das Wasser wieder zu gewinnen, die zur Herstellung des gegebenen Schwefelsäurequantums ursprünglich aufgewendet werden mußten.

Man kann das allgemeine Gesetz, daß wir in diesen Beispielen erkannt haben, wohl auch kürzer dadurch ausdrücken, daß man sagt: alle chemischen Verwandlungen lassen sich umkehren. Wir müssen uns dann aber auch gleich klar machen, daß die Vorgänge selber, die die Verwandlungen herbeiführen, sich meistens nicht umkehren lassen. Schwefel verbrennt mit Sauerstoff zusammen von selbst und liefert schweflige Säure, indem zugleich eine beträchtliche Menge Energie in Form von Wärme („Verbrennungswärme") an die umgebenden Körper abgegeben

wird. Aber die schweflige Säure geht nicht wieder einfach von selbst in Schwefel und Sauerstoff zurück. Man muß da, wie wir gesehen haben, schwierigere chemische Reaktionen sehr sorgfältig leiten und mehrmals Energie elektrisch zuführen, wo einfache Wärmezuführung nichts nützen würde.

Die Veränderungen der chemischen Stoffe sind umkehrbar, die chemischen Vorgänge selber aber im allgemeinen nicht.

Die chemischen Elemente.

Bei chemischen Vorgängen gilt ebensogut, wie bei allen Naturereignissen, das allgemeine Gesetz, daß das Gewicht der an den Vorgängen beteiligten Stoffe im ganzen sich nicht ändert.

Wenn z. B. Wasserstoff und Sauerstoff verschwinden und Wasser entsteht, so ist das Gewicht des gewonnenen Wassers genau ebenso groß als die Summe der Gewichte des verschwundenen Wasserstoffs und Sauerstoffs. Wir sagen deswegen, das Wasser entstehe durch Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff, es sei eine Verbindung dieser beiden Stoffe. Umgekehrt sagen wir, Wasserstoff und Sauerstoff entstehen durch Zerlegung des Wassers, sie seien im Wasser enthalten.

Es gibt nun eine große Zahl von Stoffen, die man nur dadurch chemisch verwandeln kann, daß man sie mit anderen Stoffen vereinigt, die man aber auf keine Weise in mehrere andere Stoffe zerlegen kann. Diese Stoffe nennt man chemische Elemente.

Wasser ist kein Element, wohl aber Wasserstoff und Sauerstoff. Von den Körpern, die in den oben gebrauchten Beispielen vorkommen, sind außerdem noch Schwefel, Kupfer, Eisen chemische Elemente. Man kennt, wenigstens bis heute, keine Stoffe, in die man sie weiter zerlegen könnte.

Man kann nun von jeder chemisch einheitlichen Substanz angeben, welche Elemente sie enthält, und zwar auch in welchen Mengen. So läßt sich z. B. 1 g Wasser zerlegen in 0,889 g Sauerstoff und 0,111 g Wasserstoff; 10 g Schwefelsäure in Wasserstoff 0,204 g, Sauerstoff 6,531 g, Schwefel 3,265 g.

Gesetz der multiplen Proportionen.

Dadurch, daß man die Gewichtsmengen, die eine Verbindung von den sie zusammensetzenden Elementen enthält, in

einer ungeheuren Zahl von Fällen bestimmt hat, hat man das zweite allgemeine Grundgesetz der **Chemie** gefunden:

Man kann die Verhältniszahlen der Mengen, in denen die verschiedenen Elemente in einer Verbindung vorhanden sind, immer so berechnen, daß man für jedes Element eine charakteristische Zahl, die zu ihm gehört, mit einer ganzen Zahl multipliziert nimmt.

So ist im Wasser das Verhältnis:

Wasserstoff : Sauerstoff = 2 : 16 = 2 × 1 : 16,

in der Schwefelsäure:

Wasserstoff : Sauerstoff : Schwefel = 2 : 64 : 32
= 2 × 1 : 4 × 16 : 32,

in der schwefligen Säure:

Schwefel : Sauerstoff = 32 : 32 = 32 : 2 × 16

im Schwefelwasserstoff:

Schwefel : Wasserstoff = 32 : 2 = 32 : 2 × 1 usf.

Man nennt dies das Gesetz der multiplen Proportionen.

Die Proportionen bleiben natürlich auch richtig, wenn man jede Verhältniszahl mit einem und demselben Faktor multipliziert. So ist z. B. die Proportion für Schwefelsäure.

2 : 64 : 32 = 0,25 : 8 : 4 = 0,2 : 6,4 : 3,2
= 14 : 448 : 224 usw.

Wenn man also die gesamten charakteristischen Konstanten der Elemente mit demselben Zahlenfaktor multipliziert, so sind sie noch ebenso richtig, wie vorher. Nun hat Wasserstoff die kleinste unter allen diesen Konstanten, man hat festgesetzt, daß sie gleich 1 genommen wird, und dadurch sind denn auch die der anderen chemischen Elemente festgelegt. Bei genaueren Messungen legt man die Konstante des Sauerstoffs zugrunde und setzt sie genau gleich 16; die Konstante des Wasserstoffs ist alsdann 1,008.

Man bezeichnet die Anzahl Gramm eines chemischen Elementes, die gleich der charakteristischen Zahl des Elements ist, als ein Grammatom, und schreibt abgekürzt für 1 Grammatom ein kurzes Zeichen, so ist z. B.:

H = 1 g Wasserstoff,
O = 16 g Sauerstoff,
S = 32 g Schwefel,
Cu = 63,6 g Kupfer,
Fe = 56 g Eisen

Dasjenige Gewicht von einer Verbindung, das gleich der Summe der betreffenden ganzzahligen Vielfachen der Grammatome ist, aus denen sie besteht, nennt man ein Grammmolekül. Man bezeichnet ein Grammolekül dadurch, daß man den Symbolen der betr. Grammatome die ganze Zahl anhängt, mit der zu multiplizieren ist, und sie einfach nebeneinander stellt, z. B.:

H_2O = 18 g Wasser,
H_2SO_4 = 98 g Schwefelsäure,
SO_2 = 64 g schweflige Säure usw.

Wir können jetzt die chemischen Verwandlungen, die wir vor kurzem als Beispiel ausführlich betrachtet haben, in sehr kurzer Form quantitativ genau durch „chemische Formeln" darstellen.

1. Gewinnung der schwefligen Säure:

$$2 \cdot H_2SO_4 + Cu = CuSO_4 + 2\,H_2O + SO_2.$$

2. Wiedergewinnung des Kupfers aus dem Kupfervitriol:

$$CuSO_4 + H_2O = Cu + O + H_2SO_4.$$

3. Herstellung von Schwefeleisen:

$$2\,Fe + 2\,S = 2\,FeS.$$

4. Gewinnung von Schwefelwasserstoff:

$$2\,FeS + 2\,H_2SO_4 = 2\,H_2S + 2\,FeSO_4.$$

5. Wiedergewinnung der Schwefelsäure aus Eisenvitriol:

$$2\,FeSO_4 + 2\,H_2O + O = Fe_2O_3 + 2\,H_2SO_4.$$

6. Eisen aus Eisenoxyd:

$$Fe_2O_3 + 6\,H = 2\,Fe + 3\,H_2O.$$

7. Zersetzung eines Teiles des Wassers:

$$H_2O = 2\,H + O$$

8. Mischung von Schwefelwasserstoff und schwefliger Säure:

$$2\,H_2S + SO_2 = 3\,S + 2\,H_2O.$$

Chemische Valenz.

An den chemischen Formeln, die wir soeben hingeschrieben haben, fällt auf, daß die Zahl der Grammatome verschiedener

Elemente in analogen Verbindungen, beispielsweise H und Cu in Schwefelsäure H_2SO_4 und im Kupfervitriol $CuSO_4$ verschieden sein kann. Wir sagen daher beispielsweise: „1 Grammatom Kupfer hat chemisch denselben Wert wie 2 Grammatome Wasserstoff,“ oder: „Kupfer hat die doppelte Valenz oder Wertigkeit, wie Wasserstoff.“ Es hat sich als praktisch erwiesen, den Wasserstoff als das Element zu wählen, mit dem alle andern verglichen werden, man nennt deswegen den Wasserstoff und alle ihm äquivalenten Elemente *einwertig*, dagegen Elemente, wie Kupfer, *zweiwertig* usw. Wir sagen auch: „Wasserstoff hat *die chemische Valenz* 1, Kupfer hat *die Valenz* 2 usw.“ Das Eisen hat in Formel 6 die Valenz 3, weil zwei Grammatome Eisen dort für sechs Grammatome Wasserstoff auftreten, dagegen hat das Eisen in den Formeln 3 und 4 die Valenz 2. Wir sehen daraus, daß manche chemischen Elemente mit verschiedenen Valenzen auftreten können. Sie verhalten sich dann zugleich chemisch oft so andersartig, als ob sie in den verschiedenartigen Formen ihres Auftretens ganz andere Stoffe wären.

Man erweitert den Begriff der Valenz auch noch in der Weise, daß man zum Beispiel sagt, Sauerstoff sei *zweiwertig*, weil im Wasser H_2O ein Grammatom Sauerstoff an zwei Grammatome Wasserstoff gebunden ist. In der Salzsäure, die aus Wasserstoff und Chlor (Cl) nach der Formel HCl gebildet ist, hat Chlor die Valenz 1. Schwefel tritt in den Formeln FeS und H_2S mit der Valenz 2 auf. Dagegen ist Schwefel in der Formel SO_2 vierwertig, weil er hier an zwei Grammatome Sauerstoff gebunden ist. In der Tat trägt der Schwefel in der Verbindung SO_2 einen ganz andern chemischen Charakter als in der Verbindung H_2S.

Den Quotienten eines Grammatoms durch die Valenz des Grammatoms nennt man ein chemisches Grammäquivalent. Chemische Grammäquivalente sind beispielsweise: H, Cl, $^1/_2O$, $^1/_2Cu$, $^1/_2Fe$, oder in Formel 6 $^1/_3Fe$. Auch chemische Verbindungen rechnet man manchmal in Grammäquivalenten, so ist $^1/_2H_2O = 9$ Gramm Wasser oder $^1/_2H_2SO_4 = 49$ Gramm Schwefelsäure je ein Grammäquivalent, ebenso: $^1/_2CuSO_4$, $^1/_6Fe_2O_3$, 1 HCl usf. Der sog. *Schwefelsäurerest* SO_4 ist gleich zwei Grammäquivalenten, also $^1/_2SO_4$ *ein* Grammäquivalent.

Atomlehre.

Wir haben früher gesehen (S. 33), daß anzunehmen ist, daß ein chemisch einheitlicher Körper aus lauter gleich beschaffenen Molekülen aufgebaut ist. Daraus folgt nun, daß bei chemischen Vorgängen die Moleküle selbst umgewandelt werden. Hiermit haben wir schon früher (S. 30) den Unterschied zwischen physikalischen und chemischen Vorgängen definiert. Im allgemeinen werden bei chemischen Veränderungen die Moleküle der aufeinander reagierenden Stoffe zuerst in mehrere Teile zersprengt, die sich in neuen Gruppierungen zu neuen Molekülen verbinden. Die beiden chemischen Grundgesetze, die wir soeben besprochen haben, sagen uns nun, wenn wir sie auf diese molekularen Vorgänge anwenden, daß in jedem Molekül einer chemischen Verbindung von den Elementen, aus denen sie sich gebildet hat, bestimmte Quanta vorhanden sind, die man bei anderen chemischen Vorgängen wieder ganz oder teilweise absprengen kann, und ferner, daß das Quantum, das von einem bestimmten Element in dem Molekül vorhanden ist, stets ein ganzzahliges Vielfaches von einem kleinsten Quantum des Elements ist. Dieses kleinste Quantum, das also auch durch chemische Vorgänge nicht in Bruchteile zersplittert wird, nennt man ein Atom. Die Gewichte der Atome sind proportional den Grammatomen. Man nennt die jedem Element eigene Zahl deswegen gewöhnlich sein Atomgewicht.

Diese Folgerungen aus den chemischen Tatsachen stehn in bestem Einklang mit dem, was die Molekulartheorie über das spezifische Gewicht der Gase lehrt. Wir haben schon früher (S. 38) das Avogadrosche Gesetz ausgesprochen, nach welchem bei gleichem Druck und gleicher Temperatur die spezifischen Gewichte verschiedener Gase sich wie die Molekulargewichte verhalten. Die Molekulargewichte aber verhalten sich wie die Gewichte der im vorigen Absatz definierten Grammoleküle. Dieses Avogadrosche Gesetz hat nun eine sehr vielfache, ausnahmslose Bestätigung erfahren, und man benutzt es geradezu, um die Menge der Atome in einem Molekül sicher festzustellen. Man kann z. B. beim Wassermolekül nach der chemischen Analyse nur sagen, daß immer auf 2 Gewichtsteile Wasserstoff 16 Gewichtsteile Sauerstoff kommen, ob aber die Zusammensetzung ist H_2O oder H_4O_2 oder H_6O_3 usw., das kann sie nicht ohne weiteres entscheiden. Untersuchen wir nun das Gewicht des gasförmigen

Wassers (also des Wasserdampfs), so finden wir, daß bei 100° und einer Atmosphäre Druck wiegt:

1 l Wasserdampf 0,590 g,

unter denselben Umständen wiegen:

1 l Sauerstoff 1,045 g
1 l Wasserstoff 0,066 g.

Diese drei Zahlen verhalten sich wie:

18 : 32 : 2.

Nun haben mancherlei Tatsachen gelehrt, daß die Moleküle der gasförmigen chemischen Elemente im allgemeinen aus zwei Atomen bestehen. Nehmen wir danach als Formeln für Sauerstoffgas und Wasserstoffgas O_2 und H_2, so finden wir für Wasserdampf: H_2O.

Wir können nach diesen Erörterungen auch sagen, daß ein Grammolekül einer Substanz eine Menge ist, die ein und dieselbe Zahl ν von Molekülen enthält, was auch ihre chemische Zusammensetzung sein mag. Ebenso enthält ein Grammatom stets die Zahl ν wirklicher Atome. ν ist also eine universelle Zahl. Man kann sie leicht aus der Loschmidtschen Zahl N berechnen. 1 Grammolekül Wasserstoff H_2 wiegt 2 g, oder wenn wir nach den neuesten Atomgewichtbestimmungen ganz genau rechnen wollen: 2,016 g (vgl. S. 86), 1 cbcm Wasserstoff bei 0° und 760 mm Druck wiegt: 0,00008985 g. Daraus ergibt sich ohne weiteres das Verhältnis $N : \nu = 0{,}00008985 : 2{,}016$, und $\nu = 22330 N$. Die Zahl der Atome in einem chemischen Grammäquivalent ist gleich ν dividiert durch die Zahl der Valenz, also in einem Grammäquivalent Wasserstoff, Sauerstoff, Kupfer sind ν, $^1/_2\nu$, $^1/_2\nu$ Atome.

Ein chemisches Element ist ein Körper, dessen Molekül aus lauter gleichartigen Atomen gebildet wird. Es ist bisweilen möglich, daß auch ein chemisches Element in mehrere Körper zerfällt, aber diese Körper sind dann untereinander gleich. So gibt es z. B. einen Stoff, Ozon genannt, der sich aus reinem Sauerstoff bildet, wenn man elektrische Entladungen hindurchgehen läßt. Ozon hat, im Gegensatz zu Sauerstoff, einen sehr intensiven Geruch, wie jeder weiß, der einmal starke elektrische Funken beobachtet hat, es hat auch andere chemische Eigenschaften, indem es die meisten Körper

stark angreift, z. B. Farben ausbleicht. Aber wenn es zerfällt, so entsteht nur reiner Sauerstoff. Ozon ist also auch ein chemisches Element und zwar dasselbe wie der gewöhnliche Sauerstoff. Man hat auch sein Gewicht bestimmt, und da hat sich herausgestellt, daß es ganz genau anderthalbmal so viel wiegt wie Sauerstoff. Die chemische Formel des Ozons ist also: O_3.

Darüber nun, wie die Atome zu Molekülen verschmolzen werden, können uns die chemischen Tatsachen ohne weiteres keine Auskunft geben. Die einfachste Vorstellung wäre die, daß die Atome Körperchen sind, die auch bei chemischen Umwandlungen gänzlich ungeändert bleiben und nur durch Nebeneinanderlagerung miteinander zu Molekülen verkittet werden. Es gibt sehr viele Tatsachen, die darauf hinweisen, daß diese Vorstellung richtig ist, und man hat sie deswegen allgemein angenommen. Aus diesem Grunde hat man für die kleinsten Quanta der Materie denselben Namen „Atome" gewählt, den Demokrit seinen unveränderlichen Elementarteilchen gab.

Mit dieser Vorstellungsweise stimmt, wie schon früher erwähnt wurde, die Tatsache überein, daß die Gasmoleküle sich im allgemeinen nicht verhalten wie kugelförmige elastische Bälle, sondern wie Körperchen, die noch aus mehreren, mehr oder weniger beweglich aneinander gegliederten Teilchen bestehen. Nun gibt es einige Gase, die man nach der Bestimmung ihrer Dichtigkeit als „einatomig" ansehen muß, d. h. als Elemente, deren Molekül nur aus einem Atom besteht. Das sind besonders die Metalldämpfe, soweit man sie kennt: Quecksilberdampf, Zinkdampf, Kadmiumdampf. Man hat auch einige physikalische Eigenschaften des Quecksilberdampfes untersucht, und es scheint, daß für seine Moleküle in der Tat das Bild der glatten Billardkugeln paßt. Dasselbe gilt noch für eine erst vor verhältnismäßig kurzer Zeit entdeckte Gruppe gasförmiger chemischer Elemente, der „inaktiven" Elemente, die überhaupt gar keine Verbindungen bilden, und die daher nur in Form einzelner Atome vorkommen. Die am besten bekannten dieser Elemente sind Helium und Argon.

Die Atomspektra.

Und doch ist das Bild der glatten einheitlichen Kugel auch für das Atom nur ein schwacher Notbehelf. Es gibt Tatsachen, die mit unzweifelhafter Sicherheit beweisen, daß ein Atom im

physikalisch-chemischen Sinne nicht ein so einfaches Ding ist wie ein demokritisches Ur-Teilchen. Eine solche Tatsache ist das Licht, das es unter Umständen aussendet.

Ich lasse das Licht der elektrischen Bogenlampe durch einen etwa millimeterbreiten Spalt gehen und projiziere das Bild des Spaltes mit einer geeigneten Linse an die Wand. Nun stelle ich in den Weg des Lichtstrahls ein Prisma. Wie jeder weiß, wird das Licht abgelenkt, und wir bekommen daher das Bild des Spaltes auf einem seitlich aufgestellten Schirm. Dieses gebrochene Bild ist nun aber nicht mehr schmal und weiß, sondern ganz in die Breite gezerrt und farbig: rot, gelb, grün, blau, violett. Man nennt dieses Bild bekanntlich ein Spektrum. Ist der Spalt schmal genug und der Schirm in genügender Entfernung, so ist jeder schmale Streifen, den ich aus dem Spektrum ausscheiden kann, eine gesättigte Farbe, und zwar viel vollkommener gesättigt als das Licht, das wir uns früher durch farbige Gläser herstellten. Wenn ich einen Spalt mit einem derartigen vollkommen gesättigten Lichtstrahl beleuchte und vor diesen Spalt wieder ein Prisma stelle, so entsteht nicht nochmals ein vielfarbiges Spektrum, sondern wir bekommen nach dem Durchgang durch das Prisma auf dem Schirm ein scharfes Bild des Spaltes und zwar genau an der Stelle, wo wir die betreffende Farbe in dem Spektrum sehen würden, wenn wir den Spalt mit weißem Licht beleuchteten. Das Prisma ist ein Mittel, um Mischfarben in die gesättigten Farben zu zerlegen, aus denen sie bestehen. Diese Analyse eines Lichtes mit dem Prisma nennen wir Spektralanalyse. Wir sehen also, daß man das gewöhnliche weiße Licht als ein Gemisch aus allen möglichen, unendlich vielen gesättigten Farben auffassen kann. Ich schiebe nun mit einem Kupferdraht, den ich in die Lampe halte, die weißglühende Kohle, deren Licht wir bisher benutzten, etwas weg. Durch die Anwesenheit des Kupfers wird der sogenannte Lichtbogen, der wie eine Flamme die beiden Kohlen der Lampe verbindet, lebhaft blaugrün gefärbt, und das Licht, was nun aus der Lampe herauskommt, ist der Hauptsache nach das Licht des Bogens, der von den Dämpfen des Kupfers hellleuchtend grün geworden ist. Ich entwerfe nun das Spektrum dieses Lichtes, Sie sehen kein kontinuierliches Farbenband mehr, sondern eine ganze Menge einzelner Streifen, hauptsächlich grüne und blaue. Also: Das

Licht, das der leuchtende Kupferdampf aussendet, besteht nicht mehr aus einer kontinuierlichen Menge gesättigter Farben, sondern aus einer Reihe einzelner, scharf getrennter Farben. In gewisser Weise ähnelt so dieses Licht dem Ton, den ein musikalisches Instrument aussendet. Während nämlich ein unmusikalisches Geräusch, z. B. das Sausen des Windes, aus einer kontinuierlichen Menge reiner Töne gemischt ist, so besteht ein musikalischer Ton nur aus einem bestimmten reinen Grundton und seinen Obertönen. Gerade so wie das Licht des Kupferdampfes verhält sich auch das von anderen Metalldämpfen, ferner auch das Licht, das die Gase in Geißlerschen Röhren aussenden. Wir wissen nun von den Metalldämpfen, soweit sie darauf hin untersucht sind, daß es einatomige Körper sind. Demnach sind die schwingenden Teilchen, die solch eigentümlich farbiges Licht erregen, die Atome selbst. Die Atome sind also imstande, noch recht komplizierte Schwingungen auszuführen. Denn wie Sie sahen, enthielt z. B. das Licht der Kupferatome eine große Menge verschiedener Schwingungen. Es ist in vielen Fällen schon gelungen festzustellen, daß zwischen den einzelnen Schwingungen des Lichtes, das ein Atom aussendet, klare gesetzmäßige Beziehungen bestehen. Es ist aber nicht die Gesetzmäßigkeit, die Grundton und Obertöne eines musikalischen Tones miteinander verbindet, die wir folgendermaßen formulieren können: Ist die Zahl der Schwingungen in der Sekunde, d. h. also die Zahl, die angibt, wie oft sich die periodischen Verdichtungen der Luft in einer Sekunde wiederholen, für den Grundton z, so sind die Schwingungszahlen der gleichzeitig ausgestrahlten Obertöne: $2z$, $3z$, $4z$, $5z$ usw. Je höher die Zahl wird, um so schwächer wird der Ton, praktisch hört die Reihe deswegen schließlich auf, theoretisch aber ist die Zahl der Obertöne unendlich groß, und ihre Tonhöhe geht über jede Grenze hinaus.

Von den Atomspektren zeigt die einfachste Gesetzmäßigkeit das Spektrum des Wasserstoffs. Untersucht man das Licht, das eine mit Wasserstoff gefüllte Geißlersche Röhre aussendet, wenn man eine elektrische Entladung hindurchgehen läßt, mit dem Prisma, so sieht man drei helle Linien, Rot, Grün, Blau, und noch zwei Linien im Violett. Mißt man von allen die Wellenlängen und berechnet daraus die Schwingungszahlen, so findet man, daß sie sich in einer sehr einfachen Formel, der sogenannten

Balmerschen Formel, zusammenfassen lassen. Es ist nämlich die Schwingungszahl für:

rot	grün	blau	violett	. . .
$N \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{9})$,	$N \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{16})$,	$N \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{25})$,	$N \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{36})$,	$N \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{49})$,

also allgemein:

$$N \cdot \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 3,\ 4,\ 5,\ 6,\ 7).$$

N bedeutet hier stets dieselbe Zahl (nebenbei bemerkt 329 Billionen). Setzt man in dieser Balmerschen Formel nun auch die folgenden Zahlen, nämlich 8, 9, 10 . . . ein, so bekommt man Schwingungszahlen von lauter Lichtarten, die das Wasserstoffatom auch aussendet, die aber so schwach sind, daß man sie für gewöhnlich nicht mehr wahrnimmt, sondern nur in ganz besonderen Fällen. Praktisch wird diese Reihe ihr Ende finden, weil die Intensität mit wachsendem n immer kleiner wird, theoretisch kann man sie, wie bei den Obertönen, unendlich lang ausdehnen. Aber das Merkwürdige dabei ist, daß die Schwingungszahl niemals wie bei den Tönen unendlich hoch wird, sie bleibt stets unter dem Wert $\frac{1}{4}N$, da $\frac{1}{n^2}$ für große Zahlen schließlich äußerst klein wird. Das ist auch wirklich durch sehr sorgsame Beobachtungen, die Evershed an dem Wasserspektrum der Sonnenprotuberanzen angestellt hat, festgestellt worden. Der Wert $\frac{1}{4}N$ ist eine Häufungsstelle in der Reihe der Schwingungszahlen, in deren Nähe die Spektrallinien unendlich dicht aufeinander folgen. Das Licht von dieser Schwingungszahl hat eine Wellenlänge von 0,3647 μ das entspricht einer Farbe, die an der äußersten Grenze von Violett liegt. Die Wellenlängen der Wasserstofflinien sind:

$n = 3$	4	5	6	7	8		∞
0,6563 μ	0,4861 μ	0,4340 μ	0,4102 μ	0,3968 μ	0,3893 μ	. . .	0,3647 μ
rot	grün	blau	violett	. . .			

Das ist aber noch nicht das Einzige, was die Atomschwingungen charakteristisch unterscheidet von den Schwingungen eines tönenden Körpers. Man beobachtet bei den meisten Atomen nicht nur eine Reihe oder „Serie" von Schwingungen, die sich durch eine Formel wiedergeben lassen, sondern deren drei. Und zwar sind die drei Formeln dieser Serien durch einfache mathe-

matische Beziehungen miteinander verknüpft. Von Wasserstoff kennt man eine zweite Serie, deren Formel der Balmerschen sehr verwandt ist, allerdings nur in dem Licht gewisser Nebelflecke. Die dritte Serie fehlt hier noch. Die drei Serien, die fast alle anderen gut bekannten Atomspektra zeigen, unterscheidet man unter den Namen: Hauptserie, erste Nebenserie, zweite Nebenserie. Sie folgen einem ähnlichen Gesetze wie die beiden des Wasserstoffs, sie endigen stets in einer Häufungsstelle. Allerdings läßt sich im allgemeinen das Gesetz nicht durch eine so einfache Formel wie die Balmersche genau wiedergeben. Ferner sind bei den meisten Elementen die Linien jeder Serie noch gespalten, entweder in zwei (Doublets) oder in drei (Triplets), und über die Unterschiede der Schwingungen der einzelnen Linien eines Doublets oder Triplets hat man wieder mehrere sehr einfache und interessante Gesetzmäßigkeiten gefunden.

Offenbar ist also das Atom ein recht eigenartiges Gebilde, es macht bei der Lichtemission ganz andersgeartete Schwingungen wie irgendein Musikinstrument bei der Schallemission. Aber wie seine Struktur ist, wie die Eigenart seiner Schwingungen etwa aus seiner Struktur erklärt werden könnte, das ist uns noch ganz rätselhaft. Sicher ist nur, daß bisher die Spektra der Atome die einzigen Anknüpfungspunkte bieten, an denen man sich zu einer genaueren Vorstellung ihres Wesens durchzuarbeiten hoffen kann.

Das periodische System der Elemente.

Es gibt eine Gesetzmäßigkeit, die bei den ferneren Fortschritten der Wissenschaft wahrscheinlich eine große Rolle spielen wird, die uns aber allerdings heute noch so sonderbar anmutet wie ein Ton aus einem ganz verborgenen, geheimnisvollen Raum, der uns ankündigt, daß wir hier Wunderdinge zu sehen bekommen würden, wenn wir nur wüßten, wo und wie wir eindringen könnten.

Wenn wir nämlich die Atomgewichte aller bekannten Elemente der Größe nach aufschreiben, so sehen wir zunächst, daß je zwei aufeinander folgende meistens eine ziemlich ähnliche Differenz zeigen, nämlich zwischen 1 und 4, obwohl die Atomgewichtzahlen von 1 bis zu 240 anwachsen. An manchen Stellen dieser Reihe, wo noch größere Lücken vorhanden sind, nimmt man mit gutem Grund an, daß bisher noch unbekannte Elemente

fehlen. Die ersten Elemente dieser Reihe sind Wasserstoff (H=1), Helium (He=4), Lithium (Li=7). Der Wasserstoff steht in der ganzen Reihe der Elemente einzigartig da, aber vom Helium an findet man, daß nach einer gewissen Zahl von Elementen immer periodisch solche Elemente wiederkehren, die den entsprechenden vorhergehenden chemisch sehr ähnlich sind. Diese Gesetzmäßigkeit ist so auffallend, daß ihr Entdecker, der russische Chemiker Mendelejeff, sogar wagen konnte, an solchen Stellen, wo in einer der periodisch wiederkehrenden Reihen ein Element fehlte, das einem Gliede der früheren Reihen entsprochen hätte, das fehlende Element zu prophezeien und außer seinem ungefähren Atomgewicht auch seine chemische Eigenart in großen Zügen vorherzusagen. Diese Voraussagungen Mendelejeffs sind dann später mehrmals in sehr auffälliger Weise bestätigt worden, indem man das prophezeite Element entdeckte und an ihm die geforderten Eigenschaften nachweisen konnte. Nichtsdestoweniger ist doch noch manches an dem „periodischen System der Elemente" nicht ganz befriedigend. Zunächst fällt die Ausnahmestellung von Wasserstoff auf, und ferner wird bei den großen Atomgewichten (über 150) die Periodizität sehr unklar. Aber daß eine Gesetzmäßigkeit vorhanden ist, ist sicher, und sie deutet auf einen uns bisher noch ganz geheimnisvollen Zusammenhang zwischen den einzelnen chemischen Elementen hin.

Es ist aber aussichtslos über die Atome der greifbaren Materie weiter forschen zu wollen, wenn man sie nicht immer in Verbindung mit der ungreifbaren Substanz, in die sie eingebettet sind, betrachtet, nämlich dem Vakuum oder, wie man es auch nennt, dem Weltäther.

---

5. Der Weltäther.

Das Vakuum, das die Atome und Moleküle umgibt, tritt bei allen physikalischen Vorgängen stets mit in Aktion, und man muß deswegen seine physikalische Eigenart zuerst genau kennen, ehe man hoffen kann, in das Verständnis der Eigenschaften der materiellen Atome tiefer einzudringen. Um auszudrücken, daß man das Vakuum nicht bloß als einen leeren geometrischen Raum, sondern vielmehr als eine wirkliche physikalische Substanz, als ein Objekt der physikalischen Forschung anzusehen

habe, hat man ihm einen besonderen Namen, den des Weltäthers, beigelegt. Allerdings ist dieser Name neuerdings vielfach in Mißkredit gekommen, weil man sich ziemlich allgemein daran gewöhnt hatte, auf den Weltäther die von dem Studium der greifbaren Materie übernommenen mechanistischen Begriffe wie etwas ganz selbstverständliches anzuwenden, und weil sich schließlich herausgestellt hat, daß das nicht geht. Wenn wir aber von vornherein als Forschungsprinzip feststellen, daß wir uns bei unseren Schlüssen über die Natur des zu untersuchenden Objektes durch keinerlei Voreingenommenheit, sondern nur durch experimentell erschlossene Tatsachen leiten lassen wollen, so werden wir wohl an dem alten guten Namen Weltäther festhalten dürfen, ohne daß er uns auf Irrwege führt.

Der Weltäther ist der Träger des Lichtes.

Daß man überhaupt experimentelle Untersuchungen am Vakuum anstellen kann, ist noch nicht gar so lange bekannt. Während einer langen Zeit war die Kenntnis vom Vakuum auf das eine beschränkt, daß die Lichtstrahlung in Vorgängen besteht, die nicht an das Vorhandensein greifbarer Stoffe gebunden sind, die sich also im Vakuum abspielen. Außerdem wußte man, daß die Vorgänge, die man als Licht wahrnimmt, regelmäßig periodisch verlaufen. Wir haben in den vorhergehenden Kapiteln die Beweise hierfür größtenteils kennen gelernt. Auch wußte man, daß sich der wellenartige Vorgang des Lichtes mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit im Äther fortpflanzt, nämlich 300000 km/sec. Ebenso wie die Schallgeschwindigkeit eine quantitativ angebbare physikalische Eigenschaft eines materiellen Mediums ist, so ist die Lichtgeschwindigkeit eine physikalische Konstante, die eine Eigenschaft des Äthers quantitativ darstellt. Trotzdem blieb die Natur der Lichtwellen doch lange Zeit hindurch in ihrem Wesen sehr rätselhaft. Was sich in einem schallübertragenden Medium in regelmäßig periodischer Weise ändert, weiß man längst. Es sind der Druck und die Strömung der Teilchen des Mediums an allen von der Schallwelle getroffenen Stellen. Über Druckspannungen und Bewegungen in materiellen Körpern kann man aber in der mannigfachsten Weise Experimente anstellen, und die Gesetze ihrer Veränderungen sind daher auch ganz unabhängig von den Schallwellen auf das genaueste bekannt. Dagegen ist es bis vor

verhältnismäßig kurzer Zeit noch rätselhaft gewesen, was es für Ätherzustände sind, deren periodische Veränderung wir in den Lichtwellen vor uns haben. Ja es schien sogar im höchsten Grade zweifelhaft, ob sie jemals der Forschung auch außer Zusammenhang mit dem Licht zugänglich sein würden, daß sich also jemals die Gesetze der Ätherphysik in ganz allgemeiner Form gewinnen ließen.

Der Äther ist ungreifbar.

In der Tat, wie konnte man hoffen, jemals ein Medium zu erforschen, das man zur näheren Untersuchung nicht isoliert in abgeschlossene Gefäße bringen kann, wie man es mit den greifbaren Stoffen macht? Denn tatsächlich haben wir unter dem Äther wirklich das Vakuum zu verstehen, was übrig bleibt, wenn wir aus einem Raumgebiet alle Moleküle der greifbaren Materie entfernen. Es liegt in der Natur dieses Vakuums, daß es sich selber nicht von der Stelle bewegen läßt, um es beispielsweise etwa von einem Gefäß in ein anderes zu füllen. Der Äther läßt sich infolgedessen auch weder abwägen noch irgendwie chemisch untersuchen, *er ist im wahrsten Sinne des Wortes unwägbar und gehört nicht zu den chemischen Stoffen.* Ja sogar der Begriff der Bewegung, der in der Physik der greifbaren Stoffe von fundamentaler Bedeutung ist, läßt sich nach dem eben gesagten auf den Äther überhaupt gar nicht anwenden. Man hat häufig Versuche darüber angestellt, ob denn das Vakuum wirklich durch die Bewegung der Körper durch den Raum hindurch gar nicht irgendwie alteriert wird. Man müßte nämlich irgendwelche Strömungen des Vakuums daran bemerken können, daß ein Lichtstrahl von ihnen etwas mitgerissen würde, genau so, wie der Wind den Schall in der Luft mit sich wegführt. Aber auch die allersubtilsten Messungen haben niemals nur die geringste Spur einer Mitführung gezeigt. Es ist dadurch experimentell sicher gestellt, daß der Äther von bewegter Materie nicht mitgenommen wird. Ein anderer schlagender Beweis hierfür ist noch darin zu erblicken, daß die Materie sich durch das Vakuum ohne den geringsten Widerstand hindurchbewegt, was die Gesetze der Planetenbewegungen bebeweisen. Es geht hieraus hervor, daß Weltäther und Atome gegeneinander nicht undurchdringlich sein können. *Auf den Weltäther sind demnach die beiden fundamentalen*

Begriffe der Physik der Materie Undurchdringbarkeit und Beweglichkeit, überhaupt nicht anzuwenden; er ist ungreifbar und unbeweglich.

Um sich vorzustellen, daß Äther und Atome füreinander durchdringbar sind, gibt es nur eine Möglichkeit. Das Raumteilchen, das von einem Atom erfüllt ist, muß gleichzeitig auch Äther sein. Das Atom ist dann also weiter nichts als ein bestimmt begrenztes Gebiet singulären Verhaltens im Äther. Wird auf irgendeine Weise in diesem Gebiet, dem Äther sein gewöhnlicher Zustand als reines Vakuum zurückgegeben, so müssen wir uns denken, daß dafür unmittelbar daneben ein ebenso großes Gebiet des singulären Verhaltens wieder neu entsteht. Der in dem Gebiet herrschende besondere Ätherzustand läßt sich also nicht einfach vernichten, er kann nur den Ort wechseln und bleibt dabei immer auf ein gleich großes, bestimmt begrenztes Gebiet, das Volumen des Atoms, beschränkt. Wir werden später noch davon sprechen, was man bisher über die Natur dieser Singularitäten im Äther, die uns als Atome wahrnehmbar werden, weiß.

Der Äther ist keine Materie.

Der reine Äther ist an und für sich überhaupt nicht wahrnehmbar. Zunächst nämlich sind seine inneren Veränderungen niemals an ihm selber zu bemerken. Diese Eigentümlichkeit, die vielleicht besonders verhängnisvoll für seine Erforschung erscheinen mag, hängt mit der Unbeweglichkeit eng zusammen. Irgendwelche Zustandsänderungen eines greifbaren Körpers, wie elastische Spannungen oder Temperaturänderungen, sind stets mit einer Veränderung des ganzen physikalischen Verhaltens des Körpers verbunden, sie sind deswegen direkt an dem Körper zu beobachten. Der Grund dafür ist, daß sich bei irgendeiner Zustandsänderung stets die gegenseitige Lage der Elementarpartikelchen (der Atome) verändert, aus denen der Körper aufgebaut ist, man hat also nach der Veränderung des Zustandes gewissermaßen einen andern Stoff vor sich. Die Zustandsänderungen im Vakuum, von denen weiter unten ausführlich die Rede sein wird, sind nicht mit Verschiebungen seiner kleinsten Teilchen verbunden, weil das Vakuum erstens überhaupt keine atomistische Struktur hat und zweitens unbeweglich ist. Infolgedessen ändert sich das physikalische Verhalten des Vaku-

ums nicht, wenn ihm ein gewisser Zustand aufgeprägt wird. So ist beispielsweise die bekannteste Eigenschaft des reinen Vakuums, die Lichtgeschwindigkeit, eine absolute Konstante; das Vakuum läßt sich in keiner Weise so beeinflussen, daß sie sich ändert. In greifbaren Körpern dagegen sind alle optischen und mechanischen Eigenschaften, wie schon gesagt, abhängig vom Zustand der Materie, und ihre Änderungen dienen im allgemeinen der experimentellen Forschung dazu, die Zustandsänderungen der Materie an ihr selber festzustellen.

Zweitens lassen sich auch örtlich im reinen Vakuum keinerlei Verschiedenheiten bemerken. Soviel wir wissen, ist der Äther im ganzen Weltall in den größten und in den kleinsten Räumen durch und durch einheitlich. Nun werden wir aber zu dem Begriff der Materie nur durch die Wahrnehmung der besonderen Verschiedenheiten in der Körperwelt geführt (S. 2). Der *reine* Äther hat also nicht bloß keinerlei Eigenschaften mit der greifbaren Materie gemeinsam, sondern wir können ihn, wenn wir streng logisch sein wollen, überhaupt nicht als eine Materie oder einen Stoff bezeichnen, weil er keinerlei Modifikationen erleidet und deswegen auch nicht wahrgenommen werden kann. Allerdings müssen wir die Atome, wie wir oben gesehen haben, als modifizierten Äther ansehen, sie bilden deswegen die wahrnehmbaren materiellen Körper; augenblicklich aber sprechen wir nur vom *reinen* Äther.

Der reine Äther hat absolut unveränderliche Eigenschaften, er ist auch örtlich im ganzen Weltall durch und durch einheitlich, er kann deswegen nicht als eine Materie bezeichnet werden.

Auf dieser Einheit und Unveränderlichkeit des Weltäthers beruht die Ordnung und die einfache klare Gesetzmäßigkeit des Weltganzen, ohne welche unsere ganze wissenschaftliche Arbeit aussichtslos sein würde.

Weltäther und Materie.

Ehe wir weiter gehen, werden wir gut tun, uns nun noch einmal ernstlich die Frage vorzulegen, ob es denn überhaupt einen Sinn hat von einer physikalischen Substanz zu sprechen, die doch im eigentlichen Sinn kein Stoff ist. Wie kann solch ein Ding uns überhaupt als Objekt physikalischer Forschung

entgegentreten? Sollten wir es nicht vielleicht durch eine bessere, natürlichere Begriffsbildung ersetzen können?

Wie schon oben erwähnt worden ist, hat zuerst die Tatsache, daß sich Licht durch das Vakuum hindurch fortpflanzt, dazu geführt, das Vakuum als eine Substanz, als Weltäther zu denken. Was wir aus den Beobachtungen direkt erschließen können, ist zunächst, daß ein greifbarer Körper (etwa die Sonne) im absoluten Vakuum, ohne also in Berührung mit anderer Materie zu sein, Energie verliert, und daß, weit von ihm entfernt, andere Körper diese Energie aufnehmen. Der erste Körper strahlt, die anderen absorbieren die Strahlung. Nun folgt aus der Beobachtung einer endlichen Lichtgeschwindigkeit weiter, daß der Übergang der Energie vom ersten Körper zu den anderen eine gewisse Zeit dauert, während welcher die Energie vom reinen Vakuum aufgenommen ist. Dadurch werden wir aber unweigerlich zu dem Schluß gezwungen, daß das reine Vakuum der Schauplatz gewisser physikalischer Vorgänge sein kann. Obwohl wir diese an sich nicht wahrnehmen können, so würden uns ohne sie die Erscheinungen, die wir an den greifbaren Körpern beobachten, immer unerklärlich bleiben. Wir schließen also aus unsern Wahrnehmungen an greifbaren Körpern auf die an sich nicht wahrnehmbaren Vorgänge im Vakuum, und die Kenntnisse von der Natur des Lichtes, die die Wissenschaft auf diese Weise gewonnen hat, von denen in den vorhergehenden Kapiteln eine Skizze gegeben worden ist, beweisen, daß man durch diese indirekte Untersuchung der Äthervorgänge recht weit vorwärts kommen kann.

Nun greifen aber nicht bloß bei der Lichtstrahlung Vorgänge in der Materie und Vorgänge im Vakuum ineinander, sondern es lassen sich noch manche andere Wechselbeziehungen konstatieren, die der experimentellen Untersuchung zugänglich sind und daher auf indirektem Wege weitere Aufschlüsse über die Natur des Äthers bringen können. Dazu gehören vor allem die sogenannten Fernkräfte. Der Begriff der Kraft schließt ursprünglich den Gedanken an eine Wechselwirkung zwischen zwei sich berührenden materiellen Körpern in sich. Wenn ich zum Beispiel an einem Gegenstand ziehe, so zieht dieser auch an mir in der entgegengesetzten Richtung. Die Kraft hat ihre Gegenkraft, die Actio ihre Reactio. Die Kraft kann auch auf andere Körper weiterwirken, dabei bleibt aber das Reaktionsprinzip gültig.

Wenn beispielsweise ein Pferd an einem Seil zieht, das an einem Wagen befestigt ist, so haben wir auf der einen Seite eine Wirkung und Gegenwirkung zwischen Pferd und Seil, auf der anderen Seite eine ebenso große Wirkung und Gegenwirkung zwischen Seil und Wagen. Das Seil überträgt die Kraft des Pferdes zum Wagen. Dabei befindet sich das Seil als Kraftüberträger in einem charakteristischen Zustand, dessen Intensität als Maß für die Größe der vermittelten Kraft dienen kann: Es ist elastisch gespannt, und damit zugleich deformiert, nämlich etwas gedehnt. Mit diesem anschaulichen Begriff der Kraft stößt man nun bei den Fernkräften auf Schwierigkeiten. Wir beobachten beispielsweise, daß ein positiv und ein negativ elektrisch geladener Körper bestimmte Kraftwirkungen aufeinander ausüben, ohne daß ein materieller Überträger dieser Kraft vorhanden ist. Die Verbindung zwischen den beiden Körpern kann ein absolutes Vakuum sein. Seit Maxwell sind nun die Physiker ganz daran gewöhnt, in diesem Fall das Vakuum wirklich als den Kraftüberträger anzusehen. Das Vakuum bildet, wenn wir so sagen wollen, in diesem Fall ein unsichtbares gespanntes Seil, das die entgegengesetzt geladenen Körper zueinander hinzieht.

Mit einer derartig grob sinnlichen Redeweise müssen wir aber sehr vorsichtig sein, denn es liegt auf der Hand, daß zwischen dem Äther und einem materiellen Körper als Kraftüberträger ein himmelweiter Unterschied ist. Von Kraft und Gegenkraft zwischen geladenem Körper und Äther kann nicht in dem Sinne die Rede sein, wie zwischen zwei sich berührenden materiellen Körpern. Denn der Begriff der mechanischen Kraft verliert bei einem Medium von dem Charakter des Vakuums, welches überhaupt gar keine mechanischen Eigenschaften hat, natürlich allen Sinn. Wir können wohl feststellen, daß das Vakuum auf den elektrisch geladenen greifbaren Körper eine Kraft ausübt, aber als Gegenwirkung können wir nur annehmen, daß der Körper dem Äther einen besonderen Zustand erteilt, den wir in Analogie zu dem, was wir in einem materiellen Kraftüberträger wahrnehmen, als elektrischen Spannungszustand des Äthers zu bezeichnen pflegen. Natürlich können infolge der Unveränderlichkeit des Äthers die elektrischen Spannungen niemals durch Beobachtungen an ihm selber wahrgenommen werden, sie bleiben Begriffe ohne direkte Anschaulichkeit. Man be-

obachtet die Spannungen des Äthers indirekt an der Kraftwirkung, die ein greifbarer, elektrisch geladener Körper an solchen Stellen erfährt, wo der Äther sich im elektrischen Spannungszustand befindet. In der Tat genügen die an greifbaren Körpern beobachteten Kräfte vollständig, um die aus ihnen erschlossenen Ätherzustände in eindeutiger Weise festzustellen und zu messen, wie wir später noch genauer sehen werden.

Man kann nun aber sehr wohl die Frage aufwerfen, ob es sich überhaupt lohnt, das Problem der Fernkräfte in die eben dargestellte, scheinbar umständliche und dabei doch nicht anschauliche Fassung zu bringen. Warum wollen wir uns einer so umständlichen Ausdrucksweise bedienen: „Der positiv und der negativ geladene Körper werden vom Äther infolge des elektrischen Spannungszustandes, den sie in ihm hervorrufen, zueinander hingezogen?“ Warum sagen wir nicht einfach: „Der positiv und der negativ geladene Körper ziehen sich an?“ Bekanntlich brauchte man früher allgemein die zweite, kürzere Ausdrucksweise, und vielen Lesern dieses Buches wird sie vielleicht auch noch heute allein geläufig sein. Man nennt die Denkweise über Fernkräfte, welche sich in ihr äußert, die „Theorie der unvermittelten Fernkräfte“, weil das Zwischenmedium der beiden Körper, das Vakuum, in ihr ganz ausgeschaltet zu sein scheint. Leider hat diese Theorie, die so außerordentlich einfach aussieht, den Fehler, daß sie nur die allerprimitivsten Tatsachen, wie beispielsweise die Kraftwirkung zwischen zwei geladenen Körpern, begrifflich darstellen kann. Schon vor Maxwell wurden die Theoretiker durch die an der Materie experimentell ermittelten Tatsachen gezwungen, von Kräften zu sprechen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit im Raum ausbreiten. Aber was heißt das denn anders, als daß sie gezwungen waren, den leeren Raum, das Vakuum, als Sitz der Fernkräfte mit in den Bereich der Betrachtung zu ziehen? Befangen, wie sie es waren, von den Vorstellungen der unvermittelten Fernewirkungen, bemerkten sie allerdings nicht den Widerspruch, der darin liegt, eine Kraft ohne Vermittelung des Vakuums zu denken und ihr doch zugleich eine endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit in dem angeblich aus den Gedanken ausgeschalteten Vakuum zuzuschreiben. Es ist klar, daß man bei dieser Verworrenheit in den Grundbegriffen keine klare Übersicht über die Gesetze der elektrischen Erscheinungen

bekommen konnte. Erst die Forderung Maxwells, daß man das Vakuum von vornherein konsequent als Medium ansehen solle, das Kräfte in die Ferne überträgt, führte zu tiefen, klaren Einblicken in vorher verschleierte Zusammenhänge und zu der Erkenntnis, daß die Gesetze der Elektrizitätslehre, die vorher in Einzelheiten auseinanderzufallen schienen, ein wundervolles, einheitliches System bildeten.

Die Kraftwirkung des Äthers auf elektrisch geladene Körper ist keineswegs die einzige Fernkraft; gut bekannt sind außerdem noch die magnetische Kraft und die Schwerkraft oder Gravitation. Es mag außerdem noch andere Fernewirkungen geben, die bisher unbekannt sind; aber so viel steht fest, daß die heutige Physik jede Fernkraft als die Wirkung eines besonderen Zustandes im Vakuum auffaßt und es als das Ziel der Ätherforschung betrachtet, die gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen den verschiedenartigen, aus ihren eigentümlichen Kraftwirkungen erschlossenen Ätherzuständen klarzulegen.

Wir haben uns den Aufbau eines greifbaren Körpers, auch eines festen, aus den Molekülen so zu denken, daß die Moleküle ein ziemlich weitmaschiges Raumnetz bilden, in dessen Maschen nur reines Vakuum ist. Die Moleküle werden durch Fernkräfte zusammengehalten, und der Äther ist es, der diese Kräfte ausübt. Sind also die Moleküle die Bausteine des greifbaren Körpers, so ist der Äther der Kitt, durch welchen die Bausteine miteinander verbunden sind. Ein greifbarer Körper ist demnach immer ein aus Molekülen und aus Äther zusammengesetztes Gebilde. Aus diesem Grunde ist es zu verstehen, daß beispielsweise das Licht durch greifbare Körper hindurchgehen kann. Allerdings werden die Moleküle, die ja mit dem Äther in physikalischer Verbindung stehen, durch die Vorgänge im Äther beeinflußt und die so hervorgerufenen molekularen Vorgänge wirken wieder auf die Äthervorgänge zurück. Deswegen wird das Licht von greifbaren Körpern absorbiert, reflektiert, gebrochen. Auch die elektrischen und magnetischen Zustände des Äthers können wir ebensogut, wie im reinen Vakuum, in greifbaren Medien beobachten, freilich stets etwas durch die anwesenden Moleküle modifiziert. Umgekehrt ist es klar, daß alle Vorgänge, die wir in erster Linie als materiell ansehen, wie die mechanischen, thermischen, chemischen Vorgänge, unter der Teilnahme des die Moleküle verkittenden reinen Vakuums ablaufen. Infolgedessen sind alle

materiellen Vorgänge mehr oder weniger von reinen Äthervorgängen, d. h. von elektromagnetischen Wirkungen, begleitet. Freilich sind diese elektromagnetischen Wirkungen meistens nur sehr schwach, aber durch die empfindlichen Instrumente, die der heutigen Forschung zur Verfügung stehen, sind sie immer einwandsfrei nachzuweisen.

Der elektrische Zustand des Äthers.

Einen Körper elektrisch laden, heißt: ihn mit dem umgebenden Äther in physikalische Verbindung setzen. Die Ladung ist die wirksame Verbindung der Materie mit dem umgebenden Äther, wodurch sie in diesem den Zustand der elektrischen Spannung hervorbringt und wodurch umgekehrt der elektrisch gespannte Äther an der Materie mit Kräften angreift. Aus dieser Wechselwirkung ergeben sich ohne weiteres zwei Methoden, den elektrischen Zustand des Äthers zu messen. Erstens ist die Ladung selber ein Maß für die von ihr hervorgerufene elektrische Erregung des Äthers. Es würde hier zu weit führen, wenn ich darstellen wollte, wie man eine elektrische Ladung messen kann, es muß uns zunächst genügen, zu wissen, daß es möglich ist, und daß es sogar Methoden gibt, die Verteilung der elektrischen Erregung in einem räumlich ausgedehnten „elektrischen Feld“ zu finden. Zweitens kann man die Kraft, die der Äther auf ein mit einer konstanten Ladung versehenes Teilchen ausübt, als Maß für den elektrischen Zustand des Äthers benutzen. Die nach dieser Methode gemessene Größe nennt man die elektrische Feldstärke oder wohl auch die elektrische Spannung des Äthers. Wenn also P die Kraft ist, mit welcher der Äther an dem zur Messung verwendeten Partikelchen angreift, so ist die Spannung E des Äthers an der Stelle, wo sich das Teilchen gerade befindet, gegeben als: $E = a . P$. Hier bedeutet a einen Zahlenfaktor, der davon abhängt, in welcher Einheit man die Kraft angibt, was für eine Ladung das Partikelchen hat und welchen Ätherzustand man als Einheit der Feldstärke wählen will.

Die zu zweit genannte Methode, das elektrische Feld zu messen, läßt sofort eine sehr eigentümliche Eigenschaft des Äthers hervortreten. Die Kraft, die auf das Partikelchen wirkt, hat nämlich nicht nur eine bestimmte Größe, sondern auch eine bestimmte Richtung. Wir können daher den elektrischen Zustand

des Äthers nur auf die Weise vollständig charakterisieren, daß wir auch die Richtung der Kraft irgendwie angeben.

Der elektrische Zustand des Äthers läßt sich nur als gerichtete Größe beschreiben.

Der elektrische Zustand verhält sich in dieser Beziehung ähnlich, wie der Strömungszustand des Wassers oder der Luft. Wenn wir an einem feinen Faden ein leichtes Körperchen in den Wind hängen, so stellt es sich mit einer bestimmten Kraft in eine bestimmte Richtung ein. Man könnte mit einer derartigen Windfahne Stärke und Richtung des Windes messen und so den Strömungszustand der Atmosphäre eindeutig bestimmen. Genau so könnte man mit einem leichten geladenen Partikelchen, das sich im elektrischen Feld mit einer bestimmten Kraft nach einer bestimmten Richtung einstellt, den elektrischen Zustand des Äthers vollständig beobachten. Wollen wir aber, um den elektrischen Zustand des Äthers unserm Verständnis etwas näher zu bringen, irgendeinen mechanischen Zustand der greifbaren Materie als sein Analogon betrachten, so werden wir nicht gerade an den Wind denken. Denn wir hätten dann das Feld eines geladenen Körpers mit einem aus diesem Körper andauernd mit gleicher Stärke nach allen Seiten hervorquellenden Luftstrom zu vergleichen, ein schlechtes Bild, weil man sich in ihm eine fortwährende Neuschaffung der Luft in dem geladenen Körper zu denken hätte. Viel besser ist es, wie schon oben angedeutet worden, als Analogon zum elektrischen Zustand des Äthers die elastische Spannung in greifbaren Medien heranzuziehen. Wir müssen dann allerdings zugestehen, daß das Verhalten des Äthers sehr merkwürdig von dem der greifbaren Körper verschieden ist. Denn in diesen kann der elastische Zustand niemals durch eine gerichtete Größe beschrieben werden. In den Gasen und Flüssigkeiten ist die einzige mit Spannung verbundene Deformation eine Volumenänderung: Ausdehnung oder Zusammenpressung, diese Deformation hat nur eine Stärke aber keine Richtung. Dementsprechend hat auch die Spannung des Gases nur eine Stärke, als deren Einheit man gewöhnlich die „Atmosphäre" nimmt, sie ist keine gerichtete Größe. In den festen Körpern kommt der Spannung freilich eine räumliche Orientierung zu. So können wir beispielsweise einen Draht oder ein Gummiband durch Zugkräfte in der Längsrichtung dehnen. In diesem Fall ist die Längsrichtung sowohl für die

Deformation, wie auch für die innere Spannung eine ausgezeichnete Richtung. Aber sie ist es doch in ganz anderer Weise, wie die Feldrichtung für die elektrische Spannung des Äthers. Denn um einen elastischen Draht zu spannen, muß ich beiderseits Kräfte angreifen lassen, die einander entgegengesetzt gleich sind. Man kann demnach nicht sagen, daß der Draht nach der einen oder nach der anderen Seite seiner Längsrichtung hin gespannt sei, beide Richtungen sind gleichwertig, die Spannung des Drahtes ist also keine Vektorgröße mit einer ganz bestimmten Richtung, wie die elektrische Spannung oder wie der Wind. Wollen wir den elektrischen Zustand des Äthers mit dem Spannungszustand eines greifbaren Mediums in Analogie setzen, so müssen wir uns immer bewußt bleiben, daß dieses Gleichnis auf einer Seite hinkt, wie jedes Gleichnis. Die elektrische Spannung des Äthers hat immer eine ganz bestimmte Richtung, die elastische Spannung eines greifbaren Mediums niemals.

Man pflegt das elektrische Feld graphisch darzustellen durch mehr oder weniger gekrümmte Linien, die sich an jeder Stelle der Richtung des Feldes anschmiegen, die elektrischen Feldlinien. Da ihnen nach dem oben gesagten eine einseitige Richtung zuzuerkennen ist, so sind zwei Arten von elektrischer Erregung durch geladene Körper denkbar. Entweder können die Feldlinien an dem geladenen Körper anfangen, aus ihm austreten, oder sie können an ihm endigen, in ihn hineinlaufen. In der Tat beobachtet man beide Fälle, es gibt also zwei Arten elektrischer Ladungen. Da das von beiden erregte elektrische Feld sich in keiner andern Weise unterscheidet, als durch das mathematische Vorzeichen seiner Richtung, so unterscheidet man auch die beiden Arten der Ladung als positiv und als negativ. Und zwar hat man festgesetzt, daß die Ladung, die ein Glasstab bekommt, wenn man ihn mit einem Seidentuch reibt, das positive Vorzeichen haben soll. Durch Vergleich mit dem Felde des Glasstabes kann man an dem Feld eines jeden andern geladenen Körpers feststellen, ob er positiv oder negativ geladen ist.

Die beiden Arten der Ladung verhalten sich in jeder Beziehung entgegengesetzt. Bringt man in dasselbe Feld nacheinander ein positiv und ein negativ geladenes Partikelchen, so findet man, daß die Kraft, die der Äther auf sie ausübt, genau entgegengesetzt gerichtet ist. Wir müssen also zu der oben gegebenen

Definition von der Richtung der elektrischen Spannung noch hinzusetzen, was für eine Art Ladung das Partikelchen haben soll, mit dem man das Feld untersucht. Man ist übereingekommen die Richtung des Feldes durch die Kraft zu definieren, die ein positiv geladenes Partikelchen erfährt. Es zeigt sich nun, daß ein positiv geladenes Partikelchen von einem positiv geladenen Körper hinweggestoßen und zu einem negativ geladenen Körper hingezogen wird. Daraus folgt: Die elektrischen

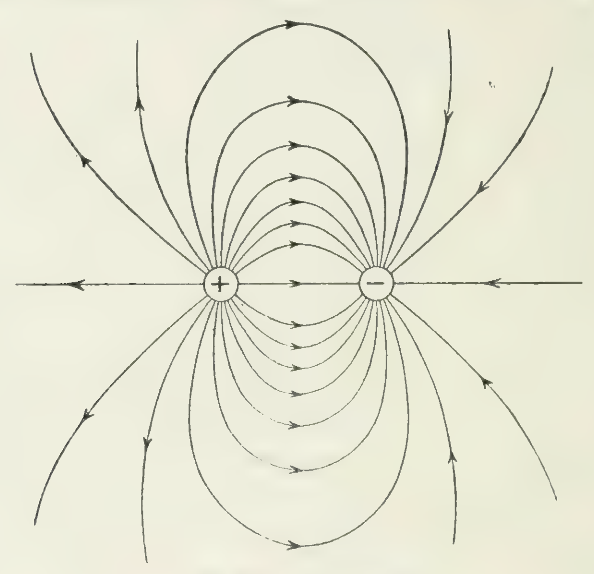


Fig. 21. Elektrisches Feld.

Feldlinien gehen von positiv geladenen Körpern aus und laufen in negativ geladene Körper hinein. In Fig. 21 ist das elektrische Feld zwischen einer positiv und einer negativ geladenen Kugel durch die Feldlinien graphisch dargestellt.

Gleichgewicht des elektrischen Zustandes.

Wir müssen uns nun zunächst mit einer Größe bekannt machen, die wir als den Gesamtwert der Spannung des Äthers in einem gewissen Gebiet bezeichnen werden. Wir werden diesen

Begriff ganz analog definieren zu dem Gesamtwert der elastischen Spannungen in der Mechanik. Denken wir uns ein Gas, das eine Spannung von einigen Atmosphären haben möge, in einen Zylinder geleitet, der wie in der Dampfmaschine mit einem verschiebbaren Kolben verschlossen ist. Wir können dann an diesem Kolben die Spannung des eingeschlossenen Gases an der Kraft beobachten, mit der ihn das Gas herauszudrücken sucht. Diese Kraft haben wir als das Maß für den Gesamtwert P der Spannung des Gases auf der Kolbenfläche anzusehen. Der Gesamtwert P berechnet sich als das Produkt aus der Gasspannung p und der Fläche des Kolbens q, also: $P = p \cdot q$. Ist p in Atmosphären, q in Quadratzentimetern angegeben, so ist P in Kilogramm berechnet.

Im Äther ist der Begriff der Gesamtspannung etwas zu modifizieren, wir können diesen Wert nicht für eine Fläche definieren, statt dessen aber für eine Strecke. Es hängt das damit zusammen, daß die Spannung des Äthers eine Vektorgröße ist. Es sei $AB = s$ ein kleines Stück einer Feldlinie, und zwar sei die positive Richtung der Ätherspannung die von A nach B. Es sei nun weiter $\mathfrak{E}$ die Feldstärke auf diesem kleinen Linienstück, die wir wegen der Nachbarschaft von A und B als ziemlich genau konstant ansehen dürfen, dann rechnet man das **Produkt aus Feldstärke und Feldlinienlänge** $\mathfrak{E} \cdot s$ **als Gesamtwert der Spannung auf der Strecke** s. Wenn $s = AB$ nicht in der Richtung der Feldlinie liegt, so nehmen wir zur Produktbildung anstelle von $\mathfrak{E}$ die Komponente von $\mathfrak{E}$ in der Richtung AB, also $\mathfrak{E} \cdot \cos\varphi$, wenn φ der Winkel zwischen $\mathfrak{E}$ und s ist; die Gesamtspannung ist demnach in diesem Falle $\mathfrak{E} \cdot s \cdot \cos\varphi$. Ist AB gerade entgegengesetzt gerichtet wie das Feld, so ist die Gesamtspannung von A nach B gleich $-\mathfrak{E} \cdot s$ zu rechnen.

Wir können nun leicht erkennen, was wir als die Gesamtspannung des Äthers längs einer beliebig langen, geraden oder krummen Linie zu rechnen haben, die zwei beliebig weit voneinander entfernte Punkte A und B verbindet. Wir können uns die Linie zerlegen in eine große Anzahl kleiner Stücke $s_1, s_2, \ldots$, deren jedes man ungefähr als gerade ansehen kann. Macht man die Stücke so klein, daß man die Änderungen des Feldes längs eines einzelnen Stücks außer Acht lassen kann, so kann man von einem bestimmten Wert der Feldstärke $\mathfrak{E}_1, \mathfrak{E}_2, \ldots$ längs

eines jeden dieser Stücke und von einem bestimmten Winkel zwischen Feldstärke und Strecke sprechen: $\varphi_1, \varphi_2 \ldots$ Die Werte $E_1, E_2 \ldots$ und ebenso $\varphi_1, \varphi_2 \ldots$ ändern sich natürlich von einem zum andern jedesmal nur ganz wenig. Da nun die Gesamtspannungen längs der einzelnen kleinen Teilstrecken leicht zu berechnen sind: $E_1 \cdot s_1 \cdot \cos\varphi_1$, $E_2 \cdot s_2 \cdot \cos\varphi_2 \ldots$, so kann man auch den Gesamtwert der Spannung V_{AB} längs der ganzen Linie von ihrem Anfangspunkt A bis zum Endpunkt B berechnen:

$$V_{AB} = E_1 \cdot s_1 \cdot \cos\varphi_1 + E_2 \cdot s_2 \cdot \cos\varphi_2 + \ldots$$

Man nennt die auf der rechten Seite stehende Summe die „Liniensumme der Feldstärke".

Der Gesamtwert der elektrischen Spannung des Äthers längs einer Linie ist gleich der Liniensumme der Feldstärke längs dieser Linie.

Je nachdem man die Linie im Sinne von A nach B oder von B nach A nimmt, ist das Vorzeichen des Gesamtwertes positiv oder negativ: $V_{BA} = - V_{AB}$.

Anstatt „Gesamtwert der Spannung längs AB" sagt man meistens einfach kurz „die elektrische Spannung längs AB".

Die Gleichgewichtsbedingung für die inneren Spannungen des Äthers lautet nun folgendermaßen:

Gleichgewichtsbedingung im elektrischen Feld.

Die elektrischen Spannungen des Äthers sind dann und nur dann im Gleichgewicht, wenn der Gesamtwert der Spannung zwischen irgend zwei Punkten auf allen Kurven, die die beiden Punkte verbinden, immer den gleichen Wert ergibt.

Man kann die Bedingung auch so formulieren: „wenn der Gesamtwert der Spannung auf einer geschlossenen Kurve Null ist."

Ein Feld, das diese Bedingung nicht erfüllt, kann also nicht bleibend sein. Es müssen in ihm Umlagerungen der Feldlinien eintreten so lange, bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist.

Die Bedingung ist ganz analog der Gleichgewichtsbedingung für die elastischen Spannungen in greifbaren Medien. Diese lautet nämlich: Der Gesamtwert der Spannung auf einer geschlossenen Fläche muß Null sein. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wirkt auf das von der geschlossenen Fläche begrenzte

Stück des Mediums eine Kraft, die eine Bewegung hervorruft; und die inneren Bewegungen dauern so lange an, bis sich Gleichgewicht hergestellt hat.

Leiter und Isolatoren.

Ebenso gut wie im reinen Vakuum kann der elektrische Zustand des Äthers auch in den meisten greifbaren Medien eintreten, weil ja alle greifbaren Körper den Weltäther als einen Bestandteil in sich haben. Die Gase unterscheiden sich sogar kaum merkbar vom reinen Vakuum, weil in ihnen das vom Vakuum eingenommene Volumen das der Moleküle weit überwiegt. Man stellt deswegen die elektrischen Experimente meistens ohne Nachteil in Luft an, weil im Vakuum enorm viel schwieriger zu experimentieren ist. In Flüssigkeiten und festen Körpern, wo die Moleküle sehr viel dichter sind, ist allerdings ein Einfluß der Moleküle auf das elektrische Feld zu bemerken. Aber die Gleichgewichtsbedingung für die elektrischen Spannungen ist in greifbaren Medien genau dieselbe wie im reinen Vakuum.

In manchen Stoffen hat die Anwesenheit der greifbaren Partikelchen die Folge, daß sich in ihnen ein elektrisches Feld überhaupt nicht halten kann. Zu diesen Stoffen gehören vor allem die Metalle. Wir können ihr eigentümliches Verhalten leicht demonstrieren. Hängen wir ein geladenes, sehr leichtes Partikelchen an einem feinen Faden auf, so beobachten wir bei Annäherung eines geriebenen Hartgummistabes, daß es in dem elektrischen Feld, welches der Stab um sich erregt, von den Ätherspannungen nach einer bestimmten Richtung hingerissen wird. Stellen wir nun zwischen das aufgehängte Partikelchen und den Hartgummistab eine große Glasscheibe oder eine Hartgummiplatte, so ändert das nichts an dem Resultat. Das heißt: Das elektrische Feld geht durch Glas und durch Hartgummi einfach hindurch, es muß demnach auch in diesen Medien selber existieren. Wenn wir dagegen zwischen Partikelchen und Hartgummistab eine große Metallscheibe einschieben, so beobachten wir keine Kraftwirkung am Partikelchen mehr. Die Metallscheibe schneidet das von dem Hartgummistabe ausgehende Feld scharf ab, m. a. W.: das Feld kann durch eine Metallscheibe nicht hindurchgehen. Will man den Versuch sehr genau machen und auch die geringste Kraftwirkung hintertreiben, so

muß man den Raum, in dem sich das Partikelchen befindet, ganz mit Metallwänden umgeben. *Faraday* stellte sich eine Kammer mit Metallwänden her, die so groß war, daß er selber hineingehen konnte. Es zeigte sich, wenn man außen auch noch so starke Felder erregte, daß innen nicht die geringste Spur davon zu bemerken war. Dieser Versuch gelingt auch, wenn man die Metallwand so dünn macht, wie man will; das Feld hört also schon an der äußersten Schicht des Metalls auf, es dringt in das Metall gar nicht ein.

In den Metallen kann sich kein elektrisches Feld halten. Sollte es einmal in ihnen zustande kommen, so bricht es jedenfalls momentan zusammen. Man nennt Stoffe, die diese Eigentümlichkeit haben, elektrische Leiter.

Im Glas und Hartgummi und in vielen anderen Körpern kann ein elektrisches Feld bestehen. Diese Stoffe heißen Dielektrika oder auch elektrische Isolatoren.

Eine Zwischenstellung zwischen Leitern und Dielektrika haben die Halbleiter, zu denen Holz, Papier und viele andere Körper gehören: Sie können eine zeitlang ein elektrisches Feld halten, aber es verschwindet nach und nach.

Wenn man einem Leiter eine elektrische Ladung erteilt, so ordnet sich das Feld außen alsbald in der Weise, daß der Gesamtwert der Spannung zwischen zwei verschiedenen Punkten seiner Oberfläche immer gleich Null ist. Es muß das so sein, weil im Innern des Leiters die Spannung Null ist; aus diesem Grunde kann das Feld um ihn herum nur dann im Gleichgewicht sein, wenn die eben genannte Bedingung erfüllt ist. Hieraus folgt ohne weiteres:

Zwischen den beiden Oberflächen zweier getrennter Leiter ist der Gesamtwert der Ätherspannung konstant.

Wenn man beispielsweise das Feldlinienbild Fig. 21 (S. 108) betrachtet, so sieht man, daß zwischen den beiden Kugeln Feldlinien von sehr verschiedener Länge vorhanden sind. Die Gleichgewichtsbedingung des Feldes fordert nun, daß die Feldstärke an den kurzen Linien durchschnittlich größer ist, als an den langen, so daß die Liniensumme für alle denselben Wert liefert.

In der Tat ist die Feldstärke zwischen den beiden Kugeln besonders hoch, und je weiter man von der Verbindungslinie der Kugeln weggeht, um so kleiner wird sie. Besonders einfach sieht man die Bedeutung der Gleichgewichtsbedingung an dem Feld eines Plattenkondensators (Fig. 22). Ist das Feld im Gleichgewicht (Fig. 22c), so muß zwischen den beiden Platten, wo alle Feldlinien dieselbe Länge haben, überall die Feldstärke konstant sein. Es gehen aber auch noch außen Feldlinien herum und diese sind verhältnismäßig sehr lang. Das äußere Feld des Kondensators ist deswegen sehr schwach. Wenn das Feld zwischen den Platten ungleichförmig wäre, was in den Fig. 22a und b dadurch angedeutet sein soll, daß an den Stellen höherer Feldstärke die Feldlinien dichter gezeichnet sind, als an den Stellen niedrigerer Feldstärke, so würde es nicht so bleiben. Es würden dann im Äther elektrische Schwingungen entstehen, genau so, wie in einer Luftsäule, die Stellen höheren und niedrigeren Luftdruckes hat, mechanische Schwingungen eintreten. Die elektrischen Schwingungen würden dann unter fortwährenden Energieverlusten so lange anhalten, bis keine Energie mehr abgegeben werden kann, d. h. bis das Feld im Gleichgewicht ist.

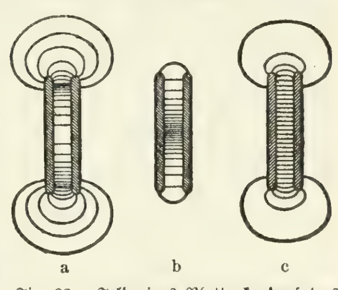


Fig. 22. Feld eines Plattenkondensators außer Gleichgewicht und im Gleichgewicht.

Eine sehr wichtige Anwendung von der Gleichgewichtsbedingung des Feldes macht man bei der Konstruktion der Elektrometer. Ein Elektrometer ist ein Instrument zur Messung der gesamten Spannung des Äthers zwischen zwei getrennten Leitern. Es enthält zwei feststehende, voneinander isolierte Metallkörper und dazwischen ein möglichst leichtes, aus seiner Gleichgewichtslage ablenkbares Prüfkörperchen, das irgendwie geladen wird und so dazu dient, ein Feld zwischen den beiden feststehenden Körpern anzuzeigen, die wir deswegen auch die Feldkörper nennen wollen. Man verbindet nun die Feldkörper mit den beiden Leitern, zwischen denen man das elektrische Feld messen will. Nach der Gleichgewichtsbedingung entsteht dann zwischen den Feldkörpern ein Feld, dessen gesamte Spannung ebenso groß ist wie die zu messende; auf diese Weise

wird das zu messende Feld gewissermaßen in das Instrument hineinverlegt, und man kann nun seine Spannung nach dem Ausschlag des Prüfkörpers beurteilen.

Erzeugung elektrischer Felder durch Berührung von Körpern.

Streng genommen können sich nur im Innern eines Leiters, der aus *einem* Stoff besteht, keine Felder halten. Bei Berührung zweier verschiedener Leiter, besonders eines Metalls und eines wässrigen Leiters, bildet sich im allgemeinen an der Berührungsstelle zwischen den Molekülen der beiden Körper ein elektrisches Feld aus, und infolge der Gleichgewichtsbedingung stellt sich dann zwischen der Oberfläche der beiden Leiter überhaupt eine elektrische Spannung her, deren Gesamtwert überall gleich der des intermolekularen Feldes an der Berührungsstelle ist. Die Tatsache der Entstehung von Ladungen bei Berührung von zwei verschiedenen chemischen Stoffen beschreibt man gewöhnlich dadurch, daß man sagt, die beiden Körper hätten eine verschiedene Neigung sich positiv oder negativ zu laden. Wenn sie sich nun berühren, so nimmt der Körper, der die größere Neigung hat sich positiv zu laden, aus dem anderen eine positive Ladung auf oder er gibt ihm eine negative Ladung ab, was ja auf dasselbe hinauskommt. Das geht so lange, bis die entstehende elektrische Spannung, welche die Ladungen natürlich immer wieder zu vereinigen sucht, mit dem den Körpern innewohnenden Bestreben die Ladungen zu trennen, der sog. „elektromotorischen Kraft", im Gleichgewicht ist. Welcher Natur eigentlich diese elektromotorische Kraft ist, wissen wir nicht, wie wir überhaupt noch ziemlich wenig von dem elektrischen Verhalten der Moleküle wissen. Sie tritt aber auch bei Berührung von Isolatoren auf und erzeugt an ihnen Ladungen, die unter dem Namen der „Reibungselektrizität" bekannt sind, weil man zur Herstellung eines guten Kontaktes die beiden Körper etwas aneinander zu reiben pflegt. Die Berührungsspannungen zwischen Metallen und wässrigen Leitern werden in den *galvanischen Ketten* oder *Elementen* praktisch verwendet. Eine Kette besteht aus zwei metallischen „Elektroden", die durch einen wässrigen Leiter miteinander verbunden sind. Man hat dann zwischen den beiden Elektroden ein elektrisches Feld von einer ganz bestimmten Spannung zur Verfügung. Schaltet man viele Ketten hintereinander, so bekommt man eine *Batterie*,

die sich von der Einzelkette dadurch auszeichnet, daß zwischen ihren Endklemmen große Spannungen zu erreichen sind. Die Spannung einer Batterie ist nämlich gleich der Summe der Spannungen der einzelnen Ketten, aus denen sie besteht.

Die elektrische Erregung des Äthers.

Wenn wir einen Metallkörper isoliert in ein elektrisches Feld hineinbringen, so bricht das Feld in ihm zusammen. Auf der Seite, von welcher die Kraftlinien herkommen, werden sie also von dem Metallkörper so abgeschnitten, daß sie an ihm endigen, auf der anderen Seite beginnen sie an seiner Oberfläche. Anders ausgedrückt: Auf der Seite, wo die Feldlinien zu dem Metallkörper hingehen, hat er eine negative Ladung, wo sie von ihm weggehen, hat er eine positive Ladung. Diese Erscheinung bezeichnet man als Influenz elektrischer Ladungen in einem elektrischen Feld.

Wenn wir nun in einen isolierten metallischen Hohlkörper einen geladenen Körper einführen, so endigt das von ihm ausgehende Feld an der inneren Hohlraumfläche, aber es beginnt dafür an der Außenfläche ein neues Feld. Würden wir den Hohlkörper mit der Erde leitend verbinden, so würden wir allerdings von diesem äußeren Feld nichts bemerken, weil sich dann die äußere influenzierte Ladung nicht nur auf dem Metallkörper, sondern auf der ganzen Erdoberfläche ausbreiten würde, in der Weise, daß die Spannung zwischen Metallkörper und Erde gemäß der Gleichgewichtsbedingung gleich Null wäre (genauer gesagt: gleich dem unveränderlichen, kleinen Wert der Kontaktspannung). Wir stellen deshalb das Metallgefäß, wie Fig. 23 zeigt, auf einen isolierenden Glasfuß. Um ferner das äußere Feld bequem beobachten zu können, verbinden wir das Gefäß mit einem Elektrometer. In Fig. 23 ist ein sogenanntes Goldblattelektrometer abgebildet. Der eine Feldkörper ist ein Metallstäbchen, das oben eine Klemmschraube trägt und durch einen Draht mit dem Gefäß verbunden ist. Der andere Feldkörper ist das metallische Gehäuse des Elektrometers, welches durch den Metallfuß und, wenn nötig, noch durch einen Draht mit der Erde, d. h. mit der Wasserleitung, verbunden ist. Wir werden also in dem Elektrometer die Spannung zwischen dem Metallgefäß und dem Erdboden (der Wasserleitung) beobachten. Als Prüfkörper dient ein feiner Streifen Goldfolie, man bringt

ihn manchmal, wie auch Fig. 23 zeigt, doppelt an. Um den Prüfkörper aufzuladen, bracht man bei dem beschriebenen kleinen Instrument keine eigene Elektrizitätsquelle, das Goldblatt ist einfach leitend mit dem einen Feldkörper, nämlich dem Metallstab, verbunden; es lädt sich also auf dieselbe Spannung auf, wie dieser, und das Feld zieht es infolgedessen von ihm weg. Die Größe des Ausschlages gibt ein Maß für die angelegte Spannung, und man kann das Instrumentchen leicht mit galvanischen Batterien in der üblichen Einheit der Spannung, in Volt, eichen.

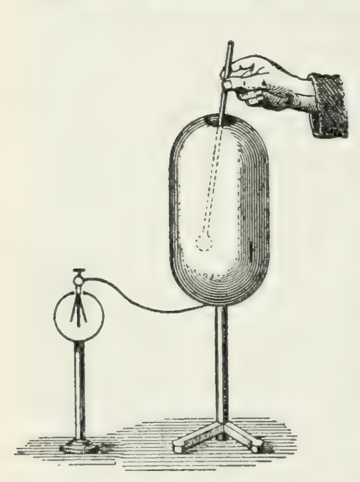


Fig. 23.
Der Faradaysche Eimerversuch.

Sobald man nun in das Metallgefäß einen geladenen Körper einführt, gibt das Elektrometer, dessen Blättchen vorher gerade herunterhingen, einen Ausschlag und zeigt damit die Spannung des äußeren Feldes an. Wenn man den hineingesteckten geladenen Körper in alle möglichen Lagen bringt, bald nahe an die Wand des Hohlraums, bald möglichst in die Mitte, so findet man, daß das auf das äußere Feld nicht den mindesten Einfluß hat, der Elektrometerausschlag bleibt ganz konstant, Zieht man den Körper aus dem Gefäß heraus, so geht natürlich der Elektrometerausschlag sofort wieder auf Null.

Man kann dies Experiment in interessanter Weise noch etwas modifizieren, wenn der geladene Körper ein Leiter ist, den man an einem ungeladenen isolierenden Stiel hält. Wenn man diesen Körper in das Gefäß hineinbringt und ihn hier gegen die Wandung stößt, indem man dabei aufmerksam den Ausschlag des Elektrometers beobachtet, so sieht man auch im Moment des Stoßes keine Spur einer Veränderung: das äußere Feld bleibt absolut konstant, wenn der geladene Körper einmal im Gefäß ist, was auch weiter mit ihm geschehen möge. Wenn man aber nach der Berührung den Körper aus dem Gefäß herausnimmt, so geht jetzt der Ausschlag nicht wieder zurück, er

ändert sich vielmehr auch dann in keiner Weise. Daraus geht hervor, daß der Metallkörper nach der Berührung ohne elektrische Ladung ist. Er hat also im Moment der Berührung mit der Gefäßwand seine Ladung vollständig verloren, und das innere Feld ist zusammengebrochen. Die Ladung ist auf das Gefäß übergegangen. Daraus, daß sich im Moment der Berührung keine Änderung des Elektrometerausschlags zeigt, folgt nun weiter, daß, ehe die Übertragung der Ladung stattfand, die äußere Influenzladung des Gefäßes schon ebenso groß war, als die Ladung des eingeführten Körpers.

Dieses Experiment ist zuerst von Faraday ausgeführt worden. Er benutzte dabei einen Metalleimer und man nennt es deswegen das Faradaysche Eimerexperiment.

Mit Hilfe eines Faradayschen Eimers kann man Ladungen miteinander vergleichen und messen. Denn zwei Körper haben offenbar die gleiche Ladung, wenn sie, nacheinander in das Metallgefäß gebracht, denselben Elektrometerausschlag hervorrufen. Bringt man zwei, drei oder mehr Körper, von denen jeder genau die gleiche Ladung hat, gleichzeitig in den Eimer, so kann man feststellen, welcher Elektrometerausschlag dem Zweifachen, Dreifachen, überhaupt einem beliebigen Vielfachen der Ladung eines der Körper entspricht. Man kann so die Skala des Elektrometers in elektrischen Ladungen eichen, ähnlich wie die Skala einer Federwage in Gewichten, indem man erst 1, dann 2, 3 oder mehr gleiche Gewichte auf die Schale legt. Bringen wir einen positiv und einen negativ geladenen Körper gleichzeitig in das Metallgefäß und erhalten wir dann keinen Ausschlag, so werden wir sagen, daß die beiden Ladungen gerade genau entgegengesetzt gleich sind. Genaue Messungen mit dem Faradayschen Eimer haben nun das folgende wichtige allgemeine Naturgesetz ergeben:

Gesetz von der Erhaltung der elektrischen Ladung.

Bei jedem Vorgang, der elektrische Ladungen frei macht, entsteht genau gleichviel positive, wie negative Ladung.

Die Summe der entstehenden Ladungen ist also immer Null. Man zieht aus diesem Gesetz den Schluß, daß eigentlich überhaupt keine Ladungen neu geschaffen werden. Man denkt sich die Sache so, daß in den Molekülen der Materie stets schon elektrische Ladungen vorhanden sind, und zwar in den an-

scheinend nicht geladenen Molekülen gleichviel positive, wie negative. Werden diese Ladungen irgendwie getrennt und auseinandergezogen, so entstehen die großen, weitausgedehnten elektrischen Felder, mit denen man experimentieren kann.

Wie wir gesehen haben, ist die auf der Außenseite eines Faradayschen Eimers influenzierte Ladung genau ebenso groß wie die Ladung des eingeführten Körpers. Aus dem soeben ausgesprochenen Gesetz folgt demnach, daß die Ladung auf der Innenwand des Hohlraums der des eingeführten Körpers genau entgegengesetzt gleich ist. Und zwar gilt das, wie groß man das metallene Hohlgefäß auch wählen mag. Wir kommen so zu einem neuen, sehr wichtigen Gesetz der Ätherphysik:

Die Linien des elektrischen Feldes, das von einer bestimmten Ladung ausgeht, können nur dadurch ihr Ende finden, daß sie auf eine genau entgegengesetzt gleiche Ladung treffen. Ein elektrisches Feld kann also niemals allmählich im Äther zu Null auslaufen.

Dieses Gesetz drückt eine höchst charakteristische physikalische Eigentümlichkeit des reinen Äthers aus, und man kann aus ihm manche sehr wichtigen Konsequenzen ziehen. Eine von diesen Konsequenzen ist, daß im Äther keine Longitudinalwellen möglich sind. Um das einzusehen, wollen wir uns denken, daß wir eine Metallkugel durch einen Wechselstrom von sehr hoher Wechselzahl in sehr schneller Folge positiv laden, entladen, negativ laden, entladen, positiv laden usw. Das soll so schnell gehen, daß der elektrische Zustand des Äthers um die Kugel herum jedesmal gar nicht genug Zeit hat, um sich voll auszubilden. Wir wollen einmal fälschlich annehmen, die Ausbildung eines Feldes um die Kugel herum geschehe so, daß bei jeder neuen Aufladung die Kraftlinien mit einer gewissen Geschwindigkeit aus der Kugel herausschießen. Verliert darauf die Kugel ihre Ladung, ehe noch das Feld über einen gewissen ziemlich kleinen Bereich hinausgekommen ist, so müßte außen das Feld fortfahren mit der ihm zukommenden Geschwindigkeit in den Raum hinauszueilen, auf der Innenseite dagegen an der Kugel müßte es aufhören. Wir würden so, wie Fig. 24 andeutet, eine vom Feld erfüllte, von der Metallkugel losgelöste Kugelschale bekommen, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit nach allen Seiten radial vorschießt. Auf sie würde wegen der

wechselnden Aufladung der Metallkugel innen eine zweite Kugelschale mit umgekehrter Feldrichtung folgen, auf diese eine dritte mit der ersten Feldrichtung usf. Auf diese Art würde eine regelrechte Strahlung von Wellen in den Raum um die Kugel hinausgehen. Und zwar wären es Longitudinalwellen, denn um einen Strahl herum wäre das Feld ganz symmetrisch, es wäre also

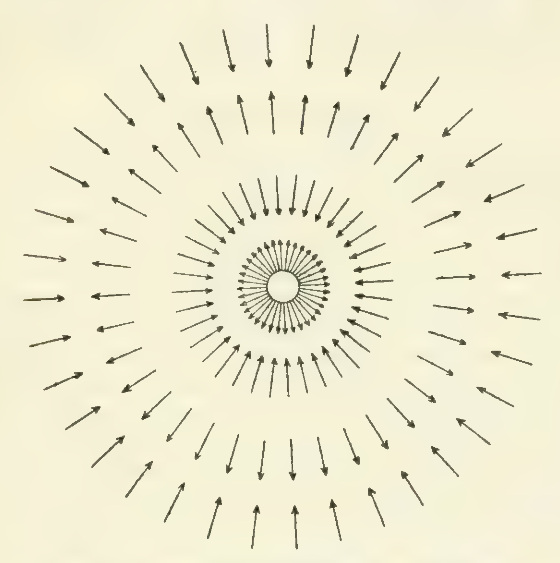


Fig. 24. Elektrische Longitudinalwellen sind unmöglich.

unmöglich, an ihm Polarisationserscheinungen wahrzunehmen, wie beim Licht (S. 70).

Derartige Longitudinalwellen sind im Äther niemals beobachtet, und man darf wohl sagen, daß man sie auch niemals beobachten wird, weil es in der Natur des Äthers liegt, daß ein Feld niemals in ihm abbricht, wie wir es an den Begrenzungen der Kugelschalen in Fig. 24 angenommen haben. Wenn sich die Metallkugel auflädt, so ist jede der Feldlinien, die an den der Kugel zugeführten elektrischen Ladungen sitzen, schon immer voll ausgebildet, insofern ihr anderes Ende an einer entgegengesetzten Ladung haftet. Die Änderungen des Feldes bestehen darin, daß sich die beiderseits fest begrenzten Feldlinien infolge

des Wanderns der Ladungen bald dehnen, bald wieder zusammenziehen, wobei sie natürlich auch Biegungen erfahren, in dem Sinne, daß sie sich immer der Gleichgewichtsbedingung anzupassen suchen. Wir werden im folgenden sehen, daß diese Änderungen des Feldes freilich nicht momentan eintreten, und daß infolgedessen bei sehr schnellen Wechseln tatsächlich eine elektrische Wellenstrahlung zustande kommen kann; aber wir werden auch sehen, daß sich dann nur Transversalwellen bilden.

Elektrische Ströme.

Obwohl in den Leitern ein elektrisches Feld, wenn es sich selbst überlassen wird, zusammenbricht, kann man es doch auch in ihnen eine Zeit lang halten, wenn man dazu Energie aufwendet. Verbindet man zwei entgegengesetzt geladene Metallkörper durch eine feuchte Holzlatte, so verschwindet das Feld zwischen ihnen sofort. Sind aber die beiden Metallkörper an die Pole einer kräftigen Elektrisiermaschine angeschlossen, so kann man zwischen ihnen trotz der leitenden Verbindung eine Spannung erhalten, wenn man die Maschine rasch genug dreht. Das Zusammenbrechen des Feldes in der leitenden Holzlatte braucht nämlich eine gewisse Zeit, und zwar sinkt die Feldstärke um so schneller, je größer sie ist. Setzt man die Elektrisiermaschine in Tätigkeit, so steigt die Spannung infolgedessen so weit, daß die Zerstörung des Feldes in der Latte gerade ebenso schnell vor sich geht, als seine Neuherstellung durch die Wirksamkeit der Maschine, und auf dieser Höhe bleibt sie. Das elektrische Feld in der leitenden Latte läßt sich leicht nachweisen, wenn man zwei verschiedene Punkte der Latte mit den beiden Feldkörpern eines Elektrometers verbindet; solange die Elektrisiermaschine in Tätigkeit ist, bekommt man einen Ausschlag, es ist also in der Tat zwischen den beiden Punkten eine Spannung, ein elektrisches Feld, vorhanden. Dieses Feld wird in dem Leiter andauernd zerstört, aber zugleich von außen her durch die Vorgänge im Äther, welche das Gleichgewicht der Spannungen aufrecht zu erhalten suchen, immer aufs neue wieder hergestellt. Den Vorgang der andauernden Erneuerung eines zerfallenden elektrischen Feldes bezeichnen wir als e l e k t r i s c h e n S t r o m. Diese Bezeichnung hat ihren Grund darin, daß der andauernde Feldzerfall mit einem Transport elektrischer Ladungen im Innern

des Leiters verbunden ist. Wenn wir einen positiv und einen negativ geladenen Konduktor leitend verbinden, so verschwinden nicht nur die Spannungen des Äthers, sondern natürlich auch die Ladungen der Materie, die sie hervorbringen. Die positive und die negative Ladung der beiden Konduktoren vereinigen sich miteinander, indem sich zugleich die Feldlinien zwischen ihnen von der großen Länge des vorher beobachteten Feldes auf kurze Stücke von molekularen Dimensionen zusammenziehen. Wie wir uns die Wanderungen der Ladungen in den Leitern zu denken haben, werde ich im letzten Kapitel an der Hand experimenteller Tatsachen eingehend darstellen. Ich will aber schon hier das allgemeine Resultat dieser Untersuchungen vorwegnehmen, damit wir zu der Betrachtung der Äthervorgänge, die mit dem elektrischen Strom verknüpft sind, genügend präzise Vorstellungen mitbringen.

Dieses Resultat ist, daß einem Stoff der Charakter eines elektrischen Leiters durch die Anwesenheit kleiner Partikelchen aufgeprägt wird, welche durch die Maschen des molekularen Gewebes, aus dem der Körper besteht, frei hindurch diffundieren können, und welche teils positive, teils negative Ladungen tragen. Derartige Partikelchen nennt man Jonen. Ihre Anwesenheit ist der Grund dafür, daß das elektrische Feld im Leiter zusammenbricht, denn sie bewegen sich infolge der im Felde auf sie wirkenden Kräfte stets so lange, bis sich an der Oberfläche des Leiters die Influenzladungen angesammelt haben, die gerade die Endigungen der Kraftlinien des äußeren Feldes aufnehmen. Erst dann, wenn von dem Feld nichts mehr in den Leiter eindringt, bleiben die Jonen in Ruhe, es herrscht also erst nach dem völligen Zerfall des Feldes Gleichgewicht. Verbinden wir einen positiv und einen negativ geladenen Konduktor durch die feuchte Holzlatte, so strömen in ihr, getrieben durch die Kraft des inneren Feldes, die Jonen von dem einen Konduktor weg zum andern hin, und die Ladungen gleichen sich aus. Es ist dabei zunächst für uns gleichgültig, ob positive Jonen von dem positiven Konduktor weg in der Richtung zum negativen oder ob negative Jonen in der umgekehrten Richtung gehen, oder endlich ob beide Arten Jonen gleichzeitig wandern, die einen zum negativen, die andern zum positiven Konduktor. Jedenfalls muß die Summe der positiven und der negativen Jonenladungen, die im ganzen durch die leitende Ver-

bindung übertragen sind, gleich der Ladung sein, die auf jedem der beiden Konduktoren für uns verschwunden ist, der positiven auf dem einen, der negativen auf dem andern. Schließen wir die Elektrisiermaschine an, so findet ein dauerndes Strömen der Jonen in der leitenden Verbindung statt und zwar so, daß die Ladungen, die man mit der Maschine erzeugt, ebenso schnell weggenommen werden, wie sie entstehen. Dabei kann die Bewegung der einzelnen Teilchen in der Latte sehr langsam sein, denn wenn sehr viele Teilchen langsam wandern, so übertragen sie dieselbe Ladung, wie wenige Teilchen, die im richtigen Verhältnis schneller wandern.

In einem Metalldraht sind ungeheuer viel mehr Jonen vorhanden, wie in einer feuchten Holzlatte, infolgedessen würden sich durch ihn die kleinen Mengen elektrischer Ladungen, welche eine Elektrisiermaschine liefert, fast momentan ausgleichen, und man würde daher nur ein kaum merkliches Feld erhalten, wenn man in dem eben beschriebenen Experiment die Holzlatte durch einen Draht ersetzte. Das wird anders, wenn man für die Elektrisiermaschine eine schneller wirkende Elektrizitätsquelle nimmt. Eine solche haben wir in der galvanischen Batterie. Verbindet man die beiden Pole einer Batterie durch einen einigermaßen langen und dünnen Draht, so kann man beobachten, daß die Spannung zwischen den Polen trotz der gut leitenden Verbindung fast ungeändert bleibt. Obwohl die Ladungen durch den Draht mit einer ganz enormen Geschwindigkeit beseitigt werden, halten die elektromotorischen Wirkungen zwischen Metall und wässrigem Leiter in den Batterieelementen, welche mit ungeheurer Schnelligkeit immer aufs neue getrennte Ladungen schaffen, doch damit Schritt, so daß die Ladungen der Pole erhalten bleiben. Allerdings sieht man es an der Batterie nicht so deutlich mit Augen, wie die neuen Ladungen hervorgeschafft werden, als an der Elektrisiermaschine. Wir werden indessen im letzten Kapitel eine Methode kennen lernen, Ladungen zu beobachten und zu messen, nach welcher ohne weiteres auch die von der Batterie gelieferten Ladungen quantitativ genau nachgewiesen werden können (S. 144). Natürlich ist auch im Innern eines stromführenden Metalldrahtes ein elektrisches Feld vorhanden, was man sehr einfach durch ein an zwei verschiedene Stellen angelegtes Elektrometer nachweisen kann. Dieses elektrische Feld treibt die elektrisch geladenen Partikelchen, die Jonen, so daß

sie durch die Poren zwischen den Metallmolekülen hindurchschlüpfen und einen elektrischen Strom bilden.

Der magnetische Zustand des Äthers.

Der Äther kann außer dem elektrischen noch einen zweiten, ebenso präzise definierten und ebenso genau meßbaren Zustand annehmen, nämlich den magnetischen. Man hat ihn zuerst in der Umgebung gewisser Körper beobachtet, die man Magnete nennt, und die man sich am bequemsten aus Stahl herstellen kann. Dieser Zustand läßt sich leicht mit einer Magnetnadel konstatieren. Die Magnetnadel hat bekanntlich zwei Stellen an ihren beiden Enden, von welchen aus das ihr eigene Feld entspringt, die beiden Magnetpole. An diesen Stellen scheint andererseits auch die Kraftwirkung des Äthers anzugreifen, wenn sich die Nadel in einem großen Magnetfeld befindet, und zwar sind die beiden Kräfte, die die Pole erfahren, einander gerade entgegengesetzt gleich, so daß die Nadel im allgemeinen ein Drehmoment erfährt, das sie in eine bestimmte Richtung einzustellen sucht. Man unterscheidet die beiden Pole als positiven und als negativen Pol der Nadel. Hat man einmal einen bestimmten Pol eines bestimmten Magneten als positiv festgesetzt, so entscheidet eine Vergleichung der Richtungen der Kräfte, die dieser „Normalpol" und irgend ein anderer Pol in einem magnetischen Feld erfahren, unzweideutig, ob der letztere Pol positiv oder negativ ist. Dies Verfahren ist praktisch sehr leicht durchzuführen, weil die Erdkugel selbst magnetisiert ist und zwei magnetische Pole hat, die in der Nähe der geographischen Pole liegen. In dem Felde des Erdmagneten stellt sich jede Magnetnadel in der Nord-Südrichtung ein (Kompaß) und man ist nun übereingekommen, immer den Pol, der im Erdfeld nach Norden zeigt, als den positiven zu bezeichnen, und den, der nach Süden zeigt, als den negativen.

Wir werden im folgenden bald sehen, daß wir Magnetpole nicht als etwas so prinzipiell einfaches ansehen dürfen, wie die elektrischen Ladungen der Materie, die keiner weiteren Erklärung zugänglich sind, sondern daß das Auftreten von Magnetpolen noch eine besondere, gar nicht sehr einfache theoretische Erklärung verlangt. Infolgedessen kann man für eine streng wissenschaftliche Definition der Größen, die das Magnetfeld bestimmen, die Kraftwirkungen auf Magnetpole nicht gebrauchen;

wir werden bald Phänomene kennen lernen, die wir als prinzipiell einfach und deswegen zur Definition des magnetischen Zustandes unmittelbar geeignet anzusehen haben. Andererseits sind aber die Kraftwirkungen an Magneten so außerordentlich bequem zu beobachten und so allgemein bekannt, daß wir sie immerhin vorläufig benutzen können, um uns an ihnen etwas über den magnetischen Zustand des Vakuums zu orientieren. Die Magnetnadel stellt sich in einem magnetischen Feld in eine ganz bestimmte Richtung ein und wird von den Kraftwirkungen des Äthers mit einer Direktionskraft von bestimmter Stärke in dieser Stellung gehalten. Die Stärke der Direktionskraft können wir als Maß für die Stärke des magnetischen Zustandes ansehen, außerdem müssen wir ihm auch eine bestimmte Richtung zuerkennen, wir wählen dafür die Richtung, nach welcher der positive Pol der Nadel zeigt.

Der magnetische Zustand des Äthers ist ebenso wie der elektrische nur durch eine gerichtete Größe vollständig zu beschreiben.

Ein positiver und ein negativer Pol verhalten sich auch in der Beziehung entgegengesetzt, daß das von ihnen ausgehende magnetische Feld umgekehrt gerichtet ist. Ein beweglicher positiver Pol wird durch die Ätherkraft von dem positiven Pol eines Magnetstabes hinweg und zu dem negativen Pol hinzugetrieben. Die magnetischen Feldlinien treten also aus dem positiven Pol heraus und laufen in den negativen hinein.

Nach alledem scheint sich das magnetische Feld fast ganz so wie ein elektrisches Feld zu verhalten, und man darf sich nicht wundern, daß Laien die beiden Arten von Kraftfeldern meistens nicht auseinander halten können und sie fast immer miteinander verwechseln. Dennoch haben wir es nicht bloß mit zwei verschiedenen Zuständen des Äthers zu tun, sondern selbst die Analogie zwischen ihnen ist nur äußerst oberflächlich und bei etwas genauerem Zusehen findet man, daß sie in Wirklichkeit sehr verschiedenartig sind.

Ich habe schon bemerkt, daß ein Magnetpol keineswegs etwas so prinzipiell einfaches sei, wie etwa eine elektrische Ladung. In der Tat sind die Magnetpole überhaupt gar nicht einmal die Stellen, an welchen von der Materie das magnetische Feld erregt wird. Das zeigt sich aus der folgenden Überlegung. Positive und negative elektrische Ladungen kann

man auf getrennte Körper bringen, zwischen denen dann das Feld übergeht. Das Analoge ist bei Magnetpolen unmöglich. Es gibt keine positiv und keine negativ magnetischen Körper, sondern jeder Magnet hat gleichzeitig einen positiven und einen negativen Pol. Man könnte vielleicht denken, die beiden Pole einer langen magnetisierten Stahlnadel ließen sich trennen, wenn man die Nadel in der Mitte, wo kein Feld aus ihr heraustritt, durchbräche. Führt man aber den Versuch tatsächlich aus, so findet man, daß die beiden Bruchstücke beides wieder vollständige Magnete mit je zwei Polen sind. An der Bruchstelle hat sich auf dem einen Stück ein positiver Pol, auf dem anderen ein negativer Pol neu gebildet. Legen wir die beiden Bruchstücke so aneinander, wie sie ursprünglich lagen, indem wir jedoch an der Bruchstelle noch einen kleinen Zwischenraum lassen, so geht durch diesen Zwischenraum ein Feld von dem einen der neugebildeten Pole zu dem anderen. Schieben wir die beiden Bruchstücke näher zusammen, so verkürzen sich die Feldlinien mehr und mehr, um schließlich, wenn wir die beiden Stücke wieder zu einem einzigen Stab zusammenfügen, bis auf molekulare Dimensionen herunterzugehen. Alsdann ist von den neuen Polen nichts mehr zu bemerken, weil das Feld von ihnen nicht mehr nach außen geht. Aber wir müssen selbstverständlich annehmen, daß es innen doch vorhanden ist. Dasselbe gilt von jedem Querschnitt, den wir uns durch den Stab gelegt denken können, denn wir können den Stab überall durchbrechen, und, wo wir es tun, finden wir immer genau dasselbe. Es folgt hieraus, daß das magnetische Feld im Innern des ganzen Magnetstabes entlang läuft und, daß an den Enden des Stabes, wo die Pole sind, nur dieses innere Feld in den äußeren Raum hinaustritt. Außen laufen die Feldlinien von dem positiven Pol zum negativen auf gekrümmten Bahnen, treten hier ein und bilden dann, indem sie innen parallel zur Stabachse wieder zum positiven Pol hinlaufen, geschlossene Kurven. Man erkennt dieses Verhalten an Fig. 25, welche das Feld eines gewöhnlichen Magnetstabes darstellt.

Die Linien eines magnetischen Feldes haben nicht Anfang und Ende, sie verlaufen stets auf geschlossenen Bahnen. Es gibt keine magnetischen Ladungen, die das magnetische Feld im Äther erregen könnten.

Die Magnetpole täuschen uns also nur vor, etwas ähnliches für das Magnetfeld zu sein, wie die Ladungen für das elektrische Feld. Ich brauche wohl kaum zu sagen, daß wir hieraus schließen müssen, daß auch die Kraftwirkungen, die der Magnet vom Äther erfährt, wenn er im magnetischen Zustande ist, keineswegs an den Polen angreifen, die ja nur zwei mathematisch ausgezeichnete Punkte, Anfang und Ende des Stabes, bedeuten. In Wirklichkeit erfahren alle Moleküle des magnetisierten Stabes, wenn er in ein großes Magnetfeld hineinge-

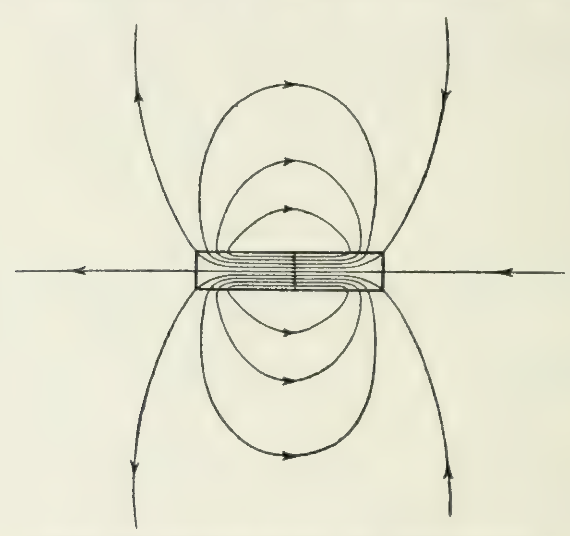


Fig. 25. Die magnetischen Feldlinien sind geschlossene Kurven.

halten wird, kleine Drehmomente, und ihre Summe ist das Drehmoment, das der ganze Stab erleidet.

Aber der Unterschied zwischen der Natur des magnetischen und des elektrischen Feldes geht noch weiter. An der Richtung des elektrischen Feldes läßt sich vorne und hinten durch wirkliche physikalische Verschiedenheiten unterscheiden. Die Feldlinien gehen zum Beispiel von einem geriebenen Glasstab zu einem geriebenen Ebonitstab, oder in einer galvanischen Kette vom Zink zum Kupfer. Ein weiteres interessantes Beispiel gibt uns die Erregung eines elektrischen Feldes durch einen pyroelektrischen

Kristall, wovon wir früher noch nicht gesprochen haben. Ein pyroelektrischer Kristall bekommt, wenn man ihn erhitzt, an seinen beiden Enden zwei entgegengesetzt elektrische Pole, aus denen elektrische Feldlinien ins Freie gehen. Ein solcher Kristall liefert uns also das elektrische Analogon des Stabmagneten. Da ist es denn sehr lehrreich für uns, zu bemerken, daß seine beiden Enden, wie schon die Gestalt des Kristalls, beispielsweise die des stark pyroelektrischen Turmalins (Fig. 26), zeigt, physikalisch durchaus verschiedenartig sind. Ganz anders ist es bei den Magneten. Die Richtung der magnetischen Feldlinien läßt sich nicht an irgendwelchen wirklich physikalischen Merkmalen erkennen. Die beiden Pole eines Magnetstabes sind beispielsweise in jeder Beziehung physikalisch gleichartig, sie unterscheiden sich nur, sozusagen, geometisch, nämlich durch die Richtung des von ihnen ausgehenden Feldes. Man kann deswegen positive und negative Pole auch nur durch eine rein geometrische, oder wenn man will geographische Orientierung (Nord-Süd) unterscheiden, während der Unterschied zwischen positiven und negativen elektrischen Ladungen durch stoffliche Merkmale gegeben ist.

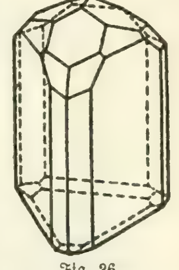


Fig. 26. Turmalinkrystall in ungehinderter natürlicher Ausbildung.

Gerichtete Größen, deren beide Seiten nur rein geometrisch zu unterscheiden sind, kommen auch sonst in der Physik vor, das typische Beispiel ist eine Rotationsachse. Auch sie hat eine bestimmte Richtung, auch an ihr kann man zwei verschiedene Seiten unterscheiden. Denn, wenn man sie von der einen Seite her betrachtet, so sieht man sie rechtsherum rotieren, von der andern Seite her dagegen linksherum. Im allgemeinen bezeichnet man die zuerst genannte Seite als den negativen, die zweite als den positiven Rotationspol der Achse. So ist beispielsweise die positive Richtung der Erd-Rotationsachse, die vom Südpol zum Nordpol. Die Festsetzung des Vorzeichens einer Rotationsachse ist ganz ebenso, wie die der magnetischen Feldlinien, auf rein geometrische Merkmale gegründet. Gerichtete Größen von dieser Art nennt man auch achsiale Vektoren oder Rotoren. Dagegen nennt man gerichtete Größen von der Art des Windes oder des elektrischen Zustandes polare Vektoren oder auch schlechthin Vektoren.

Der elektrische Zustand des Äthers ist ein Vektor, der magnetische Zustand ist ein Rotor.

Ich möchte die Analogie zwischen einer magnetischen Feldlinie und einer Rotationsachse noch durch ein kleines mechanisches Experiment erläutern, das durch Fig. 27 dargestellt wird. Eine lange Achse, die man mit einer Kurbel drehen kann, ist an mehreren Stellen durch je einen weiten Ring unterbrochen, in welchem sich in kardanischer Aufhängung ein Kreisel befindet. Die Achsen der Kreisel tragen kleine Kegelchen, die ihnen das Aussehen von Pfeilen geben. Wir setzen zunächst die Kreisel in Umdrehung und zwar alle so, daß man die Rotation als Rechts-

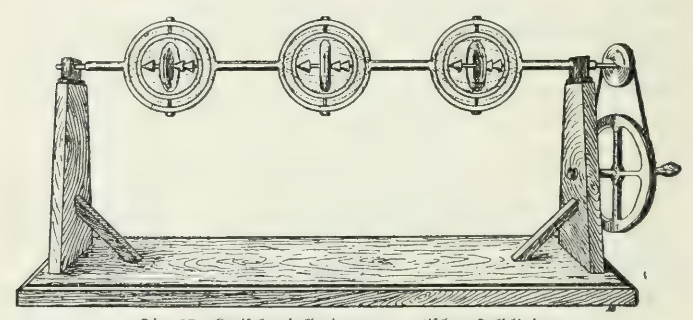


Fig. 27. Kreiselmodell einer magnetischen Feldlinie.

drehung sieht, wenn man in der Pfeilrichtung blickt. Die kardanischen Ringe seien so gestellt, daß die Kreiselachsen ganz beliebig schief zu der großen Achse stehen. Sobald wir diese nun mit der Kurbel drehen, stellen sich plötzlich alle Kreisel so, daß ihre Rotationsachsen der großen Rotationsachse gleich gerichtet sind. Kehrt man die Drehrichtung um, so klappen die Kreisel alle um 180° herum und stellen sich nach einigem Hin- und Herpendeln so ein, daß ihre Rotationsrichtung wieder mit der der Achse übereinstimmt. Diese Erscheinung ist genau analog der Einstellung von Magnetnadeln in der Richtung eines magnetischen Feldes. Die große Rotationsachse repräsentiert eine Feldlinie, die Kreisel Magnetstäbchen, die drehbar in das Feld hineingehängt sind. Ein Magnetstab, genauer gesagt sein starkes inneres Feld, hat, wie ein Kreisel, die Natur eines Rotors, und der Stab stellt sich genau, wie die Kreisel in dem eben beschrie-

benen Experiment, in einem Magnetfeld so ein, daß sein inneres Feld mit der Richtung des großen äußeren Feldes parallel ist.

Der magnetische Zustand des Äthers und der elektrische Strom.

Im Jahre 1820 entdeckte der dänische Physiker Oersted, daß in der Umgebung eines Leiters, in welchem ein elektrischer Strom geht, stets ein magnetisches Feld vorhanden ist. Das war der erste Zusammenhang, den man zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen fand.

Man kann sich leicht darüber orientieren, wie die Linien eines magnetischen Stromfeldes verlaufen. Wenn man einen starken Kupferdraht vertikal spannt und seine Enden mit den Polen einer ausgiebigen elektrischen Batterie verbindet, daß ein kräftiger Strom durch den Draht geht, so stellt sich eine Magnetnadel in seiner Nähe immer senkrecht zu der vom Draht zu ihrem Zentrum führenden Linie. Bewegt man die Magnetnadel auf einem Kreise um den Draht herum, so ist ihre Richtung also immer tangential zu diesem Kreise, die magnetische Feldlinie ist demnach die Kreislinie selbst. In Fig. 28 soll der innere schraffierte Kreis einen Querschnitt des stromdurchflossenen Drahtes bedeuten, der von den Linien des magnetischen Feldes umschlungen ist. In Fig. 29 ist ein kurzes Stück des Stromleiters durch einen Stab dargestellt und einzelne Linien seines magnetischen Feldes durch Ringe, die um den Stab konzentrisch herumgehen.

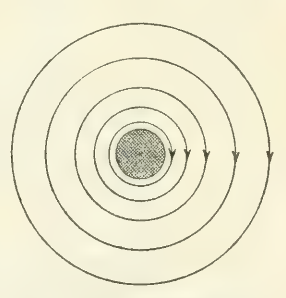


Fig. 28. Magnetisches Feld um einen stromführenden Draht.

Elektrische Ströme ohne umgebendes Magnetfeld gibt es nicht. Zwischen Strom und Magnetfeld besteht der engste Zusammenhang; je größer die Stromstärke, um so intensiver ist auch das Magnetfeld, und zwar hat ein Leiter von bestimmter Form bei derselben Stromstärke auch immer genau dasselbe magnetische Feld, ganz gleichgültig aus welchem Material der Leiter besteht.

Die Stärke des magnetischen Feldes, das einen Leiter umgibt, ist das Maß für die Stärke des elektrischen Entladungsvorganges im Leiter.

Man benutzt daher zur Messung der elektrischen Stromstärke meistens das magnetische Stromfeld. Die Strommeßinstrumente nennt man Galvanometer oder, wenn sie geeicht sind, Amperemeter (nach der Einheit der elektrischen Stromstärke, dem „Ampere"). Die meisten dieser Instrumente enthalten eine feststehende Drahtspule, durch welche der zu messende Strom geführt wird, und im Innern der Spule einen drehbaren Magneten, den eine Richtkraft in einer bestimmten Nullage hält. Das magnetische Feld der stromdurchflossenen Spule lenkt den Magneten aus dieser Nullage ab, und zwar um so mehr, je stärker der Strom ist. An dem Magneten ist ein Zeiger befestigt, dessen Ausschlag das Maß für die Strom-

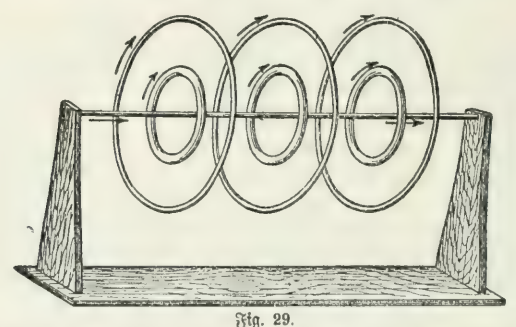


Fig. 29.
Modell der magnetischen Feldlinien um einen geraden Stromleiter herum.

stärke abgibt. Das Prinzip des Amperemeters ist also, daß man das Magnetfeld des Stromes in das Instrument hineinverlegt und hier durch die Ablenkung eines Magneten mißt.

Der feste gesetzmäßige Zusammenhang zwischen dem magnetischen Feld und der elektrischen Entladung setzt es außer Zweifel, daß wir in dem magnetischen Stromfeld diejenigen Äthervorgänge vor uns haben, welche die im Leiter zerfallenden elektrischen Spannungen immer wieder neu hervorbringen. Das magnetische Stromfeld und der elektrische Strom im Leiter sind also nur verschiedene Äußerungen eines und desselben physikalischen Ereignisses.

Den Zusammenhang zwischen Magnetfeld und Strom kann man sich durch eine einfache mechanische Analogie illustrieren.

Wir wollen uns statt einer magnetischen Feldlinie einen mechanischen Rotor denken, dessen Richtungslinie einen Ring bildet, nämlich eine Achse, auf der eine Menge gleich rotierender Rädchen sitzen und die zu einem Ring gebogen sei. Würde man nun in diesen Ring eine zylindrische Stange hineinstecken, die so dick ist, daß sie gerade eben alle Rädchen des Ringes gleichzeitig berührt, so würden die rotierenden Rädchen sie in einer bestimmten Richtung vorwärtsschieben. Der ringförmig geschlossene Rotor bringt also einen polaren Vektor, nämlich die Vorwärtsbewegung des Stabes, hervor und dieser Vektor steht zum Rotor in genau derselben Beziehung, wie der Strom zum Magnetfeld.

Besonders einfach ist der Verlauf des magnetischen Feldes im Innern eines „Solenoides". Unter einem S o l e n o i d versteht man einen langen Hohlzylinder, der aus lauter stromdurchflossenen Kreisen zusammengesetzt ist, oder praktischer ausgedrückt: eine lange zylindrische Spule mit einer glechmäßigen, feinen und dichten Wickelung aus isoliertem Draht, durch den man einen elektrischen Strom schickt. Das magnetische Feld eines Solenoids sieht genau so aus, wie das eines zylindrischen Magnetstabes, das in Fig. 25 (S. 126) dargestellt ist. Die Feldlinien bilden geschlossene Kurven, die im ganzen die Drähte der Wickelung umschlingen, und zwar so, daß im Innern ein geradliniges, gleichmäßiges Feld vorhanden ist, dessen Linien mit der Zylinderachse parallel gehen. Ein Solenoid ist also, sozusagen, ein Stück einer magnetischen Kraftröhre, dessen Wandung durch r o t i e r e n d e elektrische Ströme gebildet wird, und das außen durch ein verhältnismäßig schwaches Feld geschlossen wird. Einer bestimmten Feldstärke der Kraftröhre läßt sich immer eine bestimmte Stromwindungszahl pro Zentimeter zuordnen. Es gibt sogar bequeme Methoden, an jeder Stelle eines magnetischen Feldes die dem Felde äquivalente Stromwindungszahl pro Zentimeter wirklich zu bestimmen, indem man ein Solenoid mit derselben Feldstärke zum Vergleich herbeizieht. Diese wissenschaftlich strengen Methoden liefern uns also, wie wir sehen, als magnetische Feldstärke eine unverkennbare Rotorgröße.

Das Solenoid führt uns auch zu einer tieferen Auffassung über die Wirkungen eines Magneten. Ampère hat zuerst die Theorie aufgestellt, welche heute unwidersprochen von allen

Theoretikern angenommen ist, daß die Moleküle des Eisens von kleinen elektrischen Strömen umkreist sind. Werden die kleinen Molekülsolenoide alle ganz oder nahezu parallel gerichtet, so ergeben sie im ganzen ein ähnliches Feld wie ein einziges großes Solenoid, also das in Fig. 25 dargestellte Feld. Nach dieser Theorie ist es ohne weiteres klar, daß die Moleküle eines Magneten und der Magnet selber keine polaren Unterschiede zeigen können. Ferner folgt aus ihr, daß der magnetische Zustand des Äthers nur in Begleitung elektrischer Ströme auftritt, daß es also keine physikalische Verbindung zwischen Materie und Äther gibt, die in der Weise das magnetische Feld erregt, wie eine Ladung das elektrische.

Ebenso nun, wie im elektrisch gespannten Äther ein elektrisch geladenes Teilchen eine Kraftwirkung erfährt, so erleidet ein Stromleiter, da er selber ein magnetisches Feld um sich hat, vom Äther eine Kraftwirkung, wenn man ihn in ein ausgedehntes Magnetfeld hineinhält. Beispielsweise wirkt auf ein stromumflossenes Solenoid in einem großen Magnetfeld ein Drehmoment, welches es so zu stellen sucht, daß sein inneres Feld sich zu dem äußeren Feld parallel richtet (vgl. S. 128). Damit ist auch die Kraftwirkung des Feldes auf einen Magneten erklärt; es sind nicht etwa, wie man früher manchmal meinte, die beiden Pole, wo die Kraft angreift, sondern jedes einzelne Molekülsolenoid erfährt für sich ein Drehmoment, und das am ganzen Magneten beobachtete ist die Summe dieser molekularen Drehmomente.

Der magnetische Zustand des Äthers tritt also stets bei elektrischen Strömen ein, und auch nur da. Ein elektrischer Strom besteht aber, wie wir oben gesehen haben, aus einer Bewegung elektrisch geladener Partikelchen. Wir können demnach auch sagen, daß der magnetische Zustand des Äthers dann, und nur dann eintritt, wenn sich elektrisch geladene Teilchen bewegen. Man findet die Wahrheit dieses Satzes experimentell direkt bestätigt, wenn man eine elektrisch geladene Scheibe in rasche Rotation versetzt. Es tritt in ihrer Umgebung wirklich ein magnetisches Feld auf, das gerade so verläuft wie in der Umgebung von Kreisströmen.

Zu einer tieferen Auffassung vom Wesen des magnetischen Ätherzustandes führt uns die folgende Überlegung: Ein elektrisches Feld, welches ja einen besonderen Zustand des Äthers

darstellt, kann sich nicht ohne weiteres ändern, sondern es muß unbedingt überall da, wo eine Änderung eintreten soll, an Ort und Stelle eine besondere Ursache wirken, die die Änderung hervorbringt. Vielleicht läßt sich das durch ein Gleichnis aus der gewöhnlichen Mechanik besonders leicht klar machen. Wir haben den elektrischen Zustand des Äthers oben mit der elastischen Spannung greifbarer Stoffe verglichen. Eine elastische Spannung ist immer mit einer Deformation der Materie verbunden, sie kann sich deswegen nicht ändern, ohne daß die Teilchen der Materie, wenn auch vielleicht noch so kleine, Bewegungen ausführen. Diese Bewegungen sind hier die Ursachen, von welchen ich eben sprach, denn sie bewirken zunächst die Änderungen der Deformation und damit auch die Änderungen der Spannung. Hat nun das Vakuum da, wo ein elektrisches Feld ist, wirklich einen besonderen Zustand, so kann er sich ebensowenig, wie der elastische Spannungszustand der greifbaren Materie, verändern, wenn nicht ein besonderer Vorgang das bewirkt. Dieser Vorgang ist nun eben das, was wir als Magnetfeld wahrnehmen. Deswegen sind bewegte elektrisch geladene Partikelchen alle einzeln von einem kleinen magnetischen Feld umgeben, welches dafür sorgt, daß gerade mit der richtigen Geschwindigkeit die elektrischen Spannungen hinter dem Partikelchen aufhören und vor ihm neu entstehen. Ohne ein solches magnetisches Feld wäre die Bewegung des Partikelchens unmöglich, denn es kann, während es selber vorwärts geht, nicht sein elektrisches Feld zurücklassen. Ehe das Partikelchen zu wandern beginnt, muß demnach irgendwie der magnetische Zustand des Äthers in Gang gebracht werden und er muß das Partikelchen auch fernerhin auf seiner Wanderung begleiten.

Der magnetische Zustand muß sich aber auch noch weiter in den Äther hinein fortsetzen und nach ganz bestimmten Gesetzen verteilt sein, damit er gerade nur die Übertragung der wandernden kleinen elektrischen Felder besorgt, aber im übrigen keine Änderungen der elektrischen Spannungen erzeugt. Um das recht klar zu machen, möchte ich wieder ein mechanisches Gleichnis zur Hilfe nehmen. Man denke sich einmal an Stelle des Äthers ein Räderwerk, das aus einer ungeheuren Zahl ineinander greifender Zahnrädchen zusammengesetzt ist. Wenn in irgendeinem kleinen Bereich ein Vorgang stattfindet, der die Rädchen dort in Bewegung bringt, so breitet sich die Rotation

auf das ganze Räderwerk aus, denn sonst könnten an der Stelle, wo rotierende und nichtrotierende Rädchen ineinander greifen, die Spannungen der Zähne nicht konstant bleiben. Die Rotation der Rädchen, die an sich nicht an dem die ganze Bewegung veranlassenden Vorgang beteiligt sind, ist dabei von einer bestimmten Gesetzmäßigkeit beherrscht, weil sie nirgends mit Stauungen verbunden sein darf. Wir wollen das eine stationäre Rotation des ganzen Räderwerkes nennen. Das Analogon dazu sind die stationären magnetischen Felder im Äther, die durch eine bestimmte Gesetzmäßigkeit so geregelt sind, daß der magnetische Zustand nicht die Entstehung einer elektrischen Spannung oder auch den Zerfall oder sonst eine Veränderung schon vorhandener elektrischer Spannungen mit sich bringt. Ein stationäres magnetisches Feld ist zum Beispiel das Feld eines Magneten. Ebenso ist auch das große magnetische Feld, das einen stromdurchflossenen Draht umgibt, stationär. Wenn die kleinen, mit den Jonen wandernden magnetischen Felder, die die Übertragung des elektrischen Zustandes besorgen, begrenzt wären, so müßten, was man aus der Analogie des Räderwerkes verstehen wirst, Änderungen der Spannungen eintreten, der Vorgang könnte nicht stationär sein. Und zwar würden beim Fehlen des äußeren magnetischen Feldes die Änderungen der Spannungen so erfolgen, daß das elektrische Feld, das den Strom der Jonen bewirkt, auf Null herunterginge und der Strom demnach schnell aufhörte. Das große, äußere Magnetfeld dient also, wie wir schon auf S. 130 bemerkt haben, dazu, die elektrischen Spannungen trotz der Wanderung der Jonen stationär zu halten.

Die Induktionserscheinungen.

Die eben geschilderte Auffassung führt uns sofort zu der weiteren Frage: Auf welche Weise werden die magnetischen Zustände des Äthers in Gang gebracht? Auch hierauf geben die experimentellen Tatsachen uns die Antwort, wenn wir sie nur richtig zu deuten verstehen.

Ich erinnere an den viel gebrauchten Induktionsapparat. Er besteht hauptsächlich aus zwei zylinderförmigen Drahtspulen, die ineinander gesteckt sind. Die äußere, die sog. Sekundärspule, hat sehr viele Windungen aus einem feinen, sorgfältig isolierten Draht, dessen Enden mit zwei Klemm-

schrauben, den Sekundärklemmen, verbunden sind. Die innere, die sog. Primärspule, ist aus ziemlich dickem Draht in verhältnismäßig wenig Windungen gewickelt, ihr Hohlraum wird von einem Stab aus weichem Eisen erfüllt. Die Primärspule wird mit einer Stromquelle, beispielsweise einer Akkumulatorenbatterie, verbunden, und zwar unter Zwischenschaltung eines andauernd gehenden Unterbrechers, der den Primärstromkreis in schneller Folge abwechselnd unterbricht und schließt. Der Strom ist begleitet von einem starken Magnetfeld in dem Eisenkern, und dieses muß also wegen der Stromunterbrechungen abwechselnd entstehen und wieder verschwinden. An dem Induktionsapparat lassen sich nun die Äthervorgänge direkt beobachten, welche das starke Stromfeld einmal in Gang und dann wieder zum Aufhören bringen. Bei jedem Wechsel des magnetischen Feldes treten nämlich zwischen den Klemmschrauben der Spulen, besonders deutlich bemerkbar zwischen den Sekundärklemmen, starke elektrische Spannungen ein. Diese sog. induzierten Spannungen sind es eben, um deren vielfacher Anwendungen willen man den Apparat baut. In der Umgebung eines wechselnden magnetischen Feldes ist der Äther also von eigentümlichen elektrischen Spannungen erfüllt. Nach der seit Maxwell üblichen Auffassung stehen sie mit den Veränderungen des magnetischen Feldes in einem ursächlichen Zusammenhang, wir haben hier die Wirkungen vor uns, die den magnetischen Zustand des Äthers hervorrufen und auch wieder vernichten. Und zwar haben die elektrischen Spannungen, die das magnetische Feld in Gang bringen, die entgegengesetzte Richtung wie die, welche es aufhören machen.

Wenn wir die beiden Pole der Sekundärspule eines Induktionsapparates miteinander leitend verbinden, so rufen die mit den Wechseln des magnetischen Feldes verbundenen elektrischen Spannungen in der Spule und in dem Verbindungsdraht ziemlich kräftig elektrische Ströme hervor. Diese Tatsache ist außerordentlich bemerkenswert. Denn, wenn wir in das elektrische Feld, das irgendeinen geladenen Leiter umgibt, eine geschlossene Drahtspule hineinhalten, so entsteht in ihr niemals ein bemerkbarer Strom. Es bilden sich nur die Influenzladungen aus, an denen die Feldlinien endigen, ohne in das Innere des Leiters einzudringen, und dann bleibt das Feld im Gleichgewichtszustand. Die Spannungen des elektrischen

Feldes, das mit den Wechseln des magnetischen Zustandes im Äther verbunden ist, folgen dagegen der auf S. 110 formulierten Gleichgewichtsbedingung nicht. So verläuft beispielsweise das elektrische Feld um den wechselnd magnetischen Kern des Induktionsapparates herum auf ungefähr kreisförmigen Feldlinien und treibt infolgedessen in den kreisförmigen Wickelungen der Sekundärspule die Jonen überall in demselben Sinn, so daß ein Strom entstehen kann. Eine kreisförmige Feldlinie oder überhaupt irgendeine in sich zurücklaufende Feldlinie ist aber mit der auf S. 110 ausgesprochenen Gleichgewichtsbedingung nicht vereinbar.

Eine Änderung des magnetischen Zustands im Äther ist nur so möglich, daß zugleich elektrische Spannungen auftreten, die nicht im Gleichgewicht sind.

Es ist sehr naheliegend, an die durchaus analogen Verhältnisse bei den mechanischen Vorgängen in greifbaren Medien zu denken. Wir wollen wieder, wie wir es schon oben getan haben, die elektrischen Spannungen mit den elastischen Spannungen und den magnetischen Zustand mit dem Bewegungszustand im greifbaren Medium vergleichen. Solange die Spannungen die für das betreffende Medium geltende Gleichgewichtsbedingung erfüllen, bleibt alles in Ruhe, sobald aber das Gleichgewicht irgendwie gestört ist, so rufen die Spannungen Bewegungen hervor.

Vielleicht ist es gut, sich die Vorgänge im Induktionsapparat, als einfaches Beispiel für das gesagte, noch etwas genauer zu vergegenwärtigen. Wird der Primärkreis geschlossen, so laden sich die Endklemmen der Primärspule sofort auf die Spannung der Batterie, die den Apparat speist. Dieser Spannung wird noch nicht durch Spannungen am Stromleiter, wie sie bei einem stationären Strom infolge des Leitungswiderstandes auftreten, das Gleichgewicht gehalten, weil sich der Strom noch nicht entwickelt hat. Die Ätherspannungen sind also zunächst außer Gleichgewicht, was dadurch bewiesen wird, daß im Moment der Schließung in der Sekundärspule ein „Induktionsstrom" auftritt, wenn ihre Klemmen leitend verbunden sind. Die nicht im Gleichgewicht befindlichen Spannungen erzeugen nun ein mehr und mehr anwachsendes Magnetfeld in dem Eisenstab und, was eigentlich dasselbe ist, einen wachsenden elektrischen Strom in der Primärspule. Ist der Strom schließ-

lich so groß geworden, daß die Spannungen, die der Leitungswiderstand veranlaßt, der Klemmenspannung das Gleichgewicht halten, so ist der Zustand stationär: der Primärstrom bleibt nun konstant, und in dem Sekundärkreis hat der Strom aufgehört. Im Sekundärkreis tritt also nur ein kurz dauernder Stromstoß auf, während der Zeit, wo sich das Magnetfeld entwickelt. Wenn darauf der Primärstrom unterbrochen wird, so geht in kurzer Zeit das magnetische Feld auf Null herunter. Weil das sehr schnell geschieht, so treten dabei sehr hohe Spannungen im Äther ein, die das magnetische Feld zum Aufhören bringen. Diese Spannungen sind umgekehrt gerichtet, wie die, welche das magnetische Feld vorhin in Gang brachten, und im allgemeinen weit höher. Sie erfüllen natürlich die Gleichgewichtsbedingung nicht, und man bekommt deswegen zwischen den Sekundärklemmen eine kurzdauernde, sehr hohe Spannung, welche einen Stromstoß hervorruft, wenn sie leitend verbunden sind.

Das mechanische Analogon zum Induktionsapparat finden wir in einem Schwungrad von großer träger Masse, das man abwechselnd in Rotation und zum Stillstand bringt. Wir wollen uns denken, daß das mit Hilfe einer Kurbel gemacht werde, die durch eine Zahnradübertragung mit dem Schwungrad gekoppelt ist. Beim Andrehen treten in den Zähnen der Koppelung elastische Spannungen ein, denen keine an der Schwungradachse angreifende Kraft das Gleichgewicht hält, und die infolgedessen eine mehr und mehr beschleunigte Rotation des Rades hervorrufen. Diese Spannungen, die das Analogon der elektrischen Spannungen beim Schließen des Primärstroms im Induktionsapparat sind, werden durch die zur Drehung angewandte Kraft hervorgerufen und dadurch ist ihre Größe bestimmt, ebenso wie die Spannungen beim Schließen des Primärstromes durch die angewandte Elektrizitätsquelle gegeben sind. Bei der Rotation des Rades treten nun außer dem Trägheitswiderstand, den es der Beschleunigung seiner Drehung entgegengesetzt, noch Reibungswiderstände in den Achsenlagern auf. Diese Reibungswiderstände wachsen mit der Geschwindigkeit, und werden schließlich so groß, daß sie gerade der angewandten Kraft das Gleichgewicht halten. Alsdann ist der Zustand stationär geworden, alle Kräfte und Spannungen sind im Gleichgewicht, die Rotationsgeschwindigkeit bleibt

bei konstanter Drehungskraft ebenfalls konstant. Der Reibungswiderstand der Achsenlager ist das mechanische Analogon zu dem elektrischen Leitungswiderstand des Primärstromkreises. Als Analogon des Unterbrechers denken wir uns irgendeine Hemmung, die die Bewegung des Kurbelrades plötzlich unterbricht. Da dann auch das Schwungrad mit seiner großen trägen Masse binnen einer sehr kurzen Zeit zum Stehen gebracht wird, so entstehen in den Zähnen des Räderwerkes kolossale Spannungen, die sie entzweibrechen können, wenn sie nicht sehr fest sind. Diese hohen elastischen Spannungen beim plötzlichen Bremsen der Bewegung entsprechen den hohen elektrischen Spannungen, die im Induktionsapparat beim plötzlichen Unterbrechen des Stromes eintreten.

Aus allen diesen Auseinandersetzungen ist zu erkennen, wie es uns nach der Maxwellschen Auffassungsweise möglich geworden ist, die an und für sich nicht wahrnehmbaren Vorgänge im Vakuum durch die Wirkungen, die sie auf greifbare Körper ausüben, zu erkennen und in allen Einzelheiten zu untersuchen. In der Tat sind wir durch die Anwendung dieser Methode über das gesetzmäßige Ineinandergreifen der elektrischen und magnetischen Zustände des Vakuums ebenso genau unterrichtet worden, wie über die Gesetze der mechanischen Vorgänge in der greifbaren Materie, ja man kann sogar sagen: besser; denn die Vorgänge im Vakuum lassen sich durch sehr einfache mathematische Formeln, wie es scheint absolut genau, beschreiben, während die an der greifbaren Materie beobachteten einfachen Gesetzmäßigkeiten nur immer mehr oder weniger näherungsweise gelten.

Elektrische Wellen.

Wenn man in einem greifbaren Medium an einer begrenzten Stelle plötzlich eine Änderung des Spannungszustandes hervorruft, so ist es bekannt, daß sich die Änderung nicht in der Weise im Medium verbreitet, das sich alsbald wieder Spannungsgleichgewicht herstellt, sondern daß vielmehr von dem Störungszentrum aus eine elastische Stoßwelle mit einer ganz bestimmten, theoretisch zu berechnenden Geschwindigkeit durch das Medium eilt. Komprimiert man beispielsweise plötzlich die Luft zwischen den Handflächen, indem man die Hände schnell zusammenklappt, so gleichen sich die dadurch entstehenden Luft-

druckdifferenzen nicht einfach aus, sondern es bildet sich eine Kompressionswelle, die das Störungszentrum in Form einer Kugelschale umschließt, und diese Kugelschale eilt, sich radial erweiternd, nach allen Seiten mit der Geschwindigkeit 340 m/sec. vor. Wenn die Kompressionswelle unser Ohr trifft, so nehmen wir sie als Knall wahr. Das Eigentümliche bei diesem Vorgang ist, daß hier plötzliche Druckunterschiede in der freien Luft auftreten, während man stationäre Druckänderungen nur bekommen kann, wenn man in einem ringsum geschlossenen Gefäß die Luft komprimiert, so daß die Gefäßwände die Grenzen des Kompressionsbereiches sind.

Da die Vorgänge im Vakuum, wie wir oben gesehen haben, nach Gesetzen ablaufen, die denen der Mechanik in den greifbaren Medien durchaus analog sind, so ist vorauszusehen, daß auch im Vakuum Wellen von einem Störungszentrum ausgehen können. Wenn man beispielsweise einen elektrisch geladenen Körper mit einem plötzlichen Ruck ein wenig verschiebt, so geht sein elektrisches Feld nicht im ganzen Raum momentan mit. Denn damit das elektrische Feld sich umlagern kann, muß erst ein magnetisches Feld eintreten. Dieses entsteht zunächst nur in der unmittelbaren Umgebung des Körpers. Hier nämlich wird das elektrische Feld durch die plötzliche Bewegung des Körpers verzerrt, seine Spannungen kommen daher außer Gleichgewicht und setzen nun ein magnetisches Feld in Gang, dessen Linien den Körper kreisförmig umschlingen. Dieses Magnetfeld ist so orientiert, daß es die elektrischen Spannungen in der unmittelbaren Umgebung des Körpers wieder ins Gleichgewicht bringt. Nun kann aber einerseits das magnetische Feld nicht einfach wieder verschwinden, da es einmal in Gang gekommen ist, und andererseits ist dadurch, daß die elektrischen Spannungen in der unmittelbaren Nähe des Körpers nach der Herstellung des Gleichgewichts mit vorgerückt sind, in größerer Entfernung aber noch nicht, in einer mittleren Entfernung eine kugelförmige Zone entstanden, wo das Feld verzerrt, also außer Gleichgewicht ist. In diese Zone rückt nun gleichzeitig das bei der Bewegung entstandene magnetische Feld hinein, und beginnt sofort auch hier das Gleichgewicht der elektrischen Spannungen herzustellen. Die Kugelschale, in der das elektrische Feld gestört ist und in der der Äther zugleich den magnetischen Zustand angenommen hat, eilt auf diese Weise nach allen Rich-

tungen hin sich radial erweiternd, in den Raum hinaus, indem sich gleichzeitig der von ihr umschlossene Bereich, wo sich das elektrische Feld der neuen Lage des geladenen Körpers angepaßt hat, entsprechend vergrößert. Als die Geschwindigkeit, mit der die elektromagnetische Störung in Form einer Kugelschale radial durch das Vakuum eilt, ergibt sich aus den uns genau bekannten Gesetzen der Ätherphysik der kolossale Wert 300 000 000 m/sec. Dieser Wert ist schon von Maxwell berechnet worden.

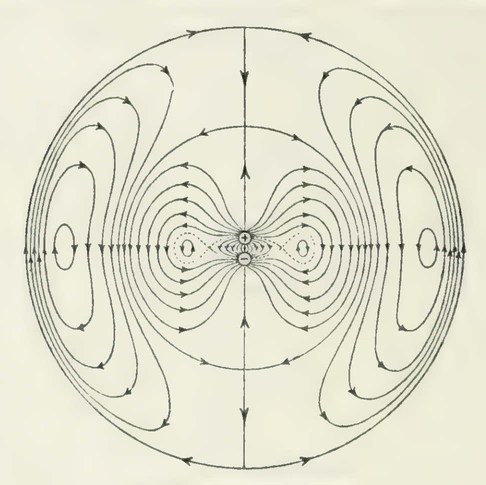


Fig. 30. Elektrische Wellen.

Wenn wir den elektrisch geladenen Körper nicht nur einmal ruckweise verschieben, sondern wenn wir ihn regelmäßig periodisch hin- und herbewegen würden, so würden wir nicht eine einzelne Stoßwelle im Vakuum zu erwarten haben, sondern einen regelmäßig periodischen Wellenzug. Allerdings müßte man, um die Erscheinung beobachten zu können, wegen der enorm hohen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen, die Hin- und Herbewegung in äußerst kurzen Intervallen, wenigstens viele Millionen Male in der Sekunde ausführen. Es ist bekannt, daß es Heinrich Hertz tatsächlich gelungen ist, derartige Experimente zu machen. Er ließ in einem Metallstab, dem Oszillator, elektrische Ladungen in Form eines hochfrequenten Wechselstroms hin und her gehen, und es zeigte sich, daß vom

Oszillator nun in der Tat elektrische Wellen ausgingen, die mit der theoretisch berechneten Geschwindigkeit durch den Raum eilten. Fig. 30, welche dem berühmten Werk von Hertz „Über die Ausbreitung der elektrischen Kraft" entnommen ist, stellt das den Oszillator umgebende elektrische Feld in einem bestimmten Moment dar. Die beiden Enden des Oszillators, die in Fig. 30 als Kugeln gezeichnet sind, nehmen durch den im Oszillatorstab hin und her gehenden hochfrequenten Wechselstrom entgegengesetzte Ladungen an, und zwar so, das abwechselnd: oben negativ unten positiv, und: oben positiv unten negativ ist. In der unmittelbaren Umgebung des Oszillators verläuft das Feld zwischen den beiden geladenen Enden ungefähr so, wie das Feld zwischen zwei geladenen Kugeln, wenn es im Gleichgewicht ist. Aber in größerer Entfernung weicht es sehr stark davon ab. Da nämlich die Zeit, während der die Oszillatorenden sich aufladen, äußerst kurz bemessen ist, so kann sich das Feld in einiger Entfernung während derselben Zeit nicht vollkommen ausbilden. Die Feldlinien sind zunächst mehr in der Nähe der Kugeln konzentriert und breiten sich erst später nach der Seite aus. Das geschieht durch die Wirkung eines magnetischen Feldes, welches infolge des mangelnden elektrischen Gleichgewichts entsteht und das nun die Übertragung der elektrischen Feldlinien weiter nach außen hin besorgt. Während diese seitliche Ausbreitung des Feldes recht in Gang gekommen ist, haben die Oszillatorenden das Maximum der Ladung angenommen und beginnen sich nun, da sich der Strom umkehrt, zu entladen. Das Feld in der unmittelbaren Umgebung beginnt auf Null zurückzugehen, um sich dann später umzukehren. Dieser Moment ist in Fig. 30 fixiert. Was wird aus den Spannungslinien, die außen durch die Wirkung des mit ihnen verbundenen magnetischen Feldes sich immer weiter auszubreiten suchen, während die Kraftlinien in der Nähe des Oszillators infolge des Verschwindens der Ladungen mehr und mehr auf Null zusammenschrumpfen? Die Antwort ist: Sie trennen sich von dem Felde des Oszillators ab. Aber natürlich nicht in der Weise, daß sie zerreißen, was nach den Auseinandersetzungen auf S. 119 unmöglich ist, sondern so, daß sie sich mehr und mehr als geschlossene Feldlinien abschnüren (s. Fig. 30). Die Gesamtheit der abgeschnürten Feldlinien breitet sich, da das magnetische Feld sie immer begleitet, weiter und weiter aus.

Wie Fig. 30 zeigt, erfüllen alle abgeschnürten Feldlinien schließlich eine Kugelschale, und diese eilt mit der schon oben angegebenen Geschwindigkeit 300 000 000 m/sec radial durch den Raum. Das Eigentümliche ist dabei also, daß die elektrischen Kraftlinien, die sich von dem Störungszentrum, dem Oszillator, ablösen, nicht im geringsten mehr an elektrische Ladungen gebunden sind, sondern frei durch den Raum eilen. Das erinnert uns an die Kompressionswellen in Luft, in denen Druckunterschiede auftreten, ohne daß die Gebiete des veränderten Druckes durch Gefäßwände begrenzt sind; so sind auch die Feldlinien der elektrischen Wellen nicht durch elektrische Ladungen begrenzt. Man sieht an Fig. 30 sofort, daß die elektromagnetischen Wellen Transversalwellen sind, denn die Richtung des elektrischen Feldes (und ebenso die des damit verbundenen magnetischen Feldes) ist im großen ganzen parallel zu der Kugeloberfläche, also senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Wellen. Die Schwingungsrichtung und Intensität dieser transversalen Kugelwelle ist schon früher einmal durch die einfachere Fig. 19 auf S. 73 dargestellt.

Es ist wohl kaum nötig zu erwähnen, daß die Hertzschen Experimente in neuerer Zeit ihre praktische Anwendung in der Telegraphie ohne Draht gefunden haben. Die von der „Senderantenne" losgeschnürten, frei durch den Raum eilenden Spannungen sind es, welche in dem Empfangsapparat und in dem „Wellendetektor" die Wirkungen hervorrufen, die das Telegramm liefern.

Die Theorie des Lichtes.

Es ist höchst bemerkenswert, daß die Geschwindigkeit der elektrischen Wellen 300 000 km/sec auf das genaueste mit dem Wert übereinstimmt, den man schon lange für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes kennt. Auch im übrigen haben Theorie und Experiment übereinstimmend gezeigt, daß die durch hochfrequente Wechselströme hervorgerufenen Ätherwellen sich vollkommen so verhalten, wie sich eine Lichtstrahlung von sehr großer Wellenlänge verhalten würde. Das Auge spricht also auf genügend schnelle elektromagnetische Schwingungen (denn etwas anderes kann nach dem eben gesagten das Licht gar nicht sein) ebenso an, wie das Ohr auf genügend schnelle mechanische Schwingungen. Das Auge ist sozusagen ein Sinnesorgan für elektromagnetische Vorgänge im Äther.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Maxwellsche Theorie nicht nur Klarheit über die elektromagnetischen Vorgänge gebracht hat, sondern daß sie zugleich auch zu der Aufdeckung jener bis dahin so außerordentlich rätselhaften Ätherzustände geführt hat, deren regelmäßig periodische Wechsel als Lichtstrahlung bemerkbar wird. Wir haben in den früheren Abschnitten (S. 97) über dieses Problem der alten Optik gesprochen. Nun ist es gelöst, die Äthervorgänge, nach denen man lange vergeblich suchte, sind nichts anderes, als die elektromagnetischen, deren Verhalten uns seit den Experimentaluntersuchungen Faradays und ihrer Deutung durch Maxwell bis in alle Einzelheiten genau bekannt geworden ist. Die Optik ist nunmehr nur noch ein großer Abschnitt der Elektrizitätslehre, der von den äußerst schnellen Schwingungen (mit einigen Hundert Billionen Wechseln in der Sekunde) handelt.

---

6. Die Verknüpfung der greifbaren Materie mit dem Äther.

Alle Körper senden Licht aus, wenn sie auf eine hohe Temperatur gebracht werden. Ihre Moleküle und Atome erleiden dann so starke Erschütterungen, daß sie in Vibration kommen und diese Vibrationen erzeugen elektromagnetische Wellen im Äther. Es ist also klar, daß die Moleküle und Atome ausnahmslos mit dem Äther in physikalischer Verbindung stehen, daß sie mit andern Worten elektrisch geladen sind.

So schwierig diese aus der Maxwellschen Äthertheorie folgende Vorstellung vielleicht auch in den Einzelheiten durchzuführen sein mag, so ist doch der Fortschritt in unserer Erkenntnis, den sie bedeutet, nicht zu unterschätzen. Solange man noch an mechanistischen Vorstellungen haftete und das Licht als eine Wellenbewegung des Äthers auffassen wollte, wurde man in lauter Widersprüche verstrickt. Denn es war auf keine Weise zu verstehen, wie materielle Teilchen, für die der Äther vollkommen durchdringlich ist, ihn in Bewegung setzen können. Diese Schwierigkeiten sind nun mit einem Schlage beseitigt, da man weiß, daß der Zusammenhang zwischen Materie und Äther nicht mechanisch, sondern elektrisch ist.

Elektrolyse.

Die ersten Endeckungen über geladene Atome sind an den wässrigen Leitern gemacht worden, das heißt an Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen in Wasser. Leitet man durch solche Lösungen einen elektrischen Strom, so beobachtet man, daß in der unmittelbaren Umgebung der in die Lösung eintauchenden metallischen Stromzuführungen, der Elektroden, chemische Zersetzungen eintreten. Man nennt diese Lösungen deswegen Elektrolyte. Die Zersetzung selber bezeichnet man als Elektrolyse. Um gut erklären zu können, welcher Art die chemischen Veränderungen sind, möchte ich mich an ein bestimmtes Beispiel halten, und zwar wähle ich dazu eine Lösung von Kaliumsulfat (K_2SO_4). Was beim Durchgang des Stromes in diesem Fall sofort zu sehen ist, ist eine Gasentwickelung an den beiden Elektroden, und zwar tritt an der positiv elektrischen Seite, der Anode, Sauerstoff auf, an der negativ elektrischen, der Kathode, dagegen Wasserstoff. Faraday hat nun zuerst quantitative Untersuchungen über die Menge der frei werdenden Zersetzungsprodukte angestellt und hat das wichtige Gesetz gefunden, daß die Menge des an einer Elektrode in einem bestimmten Elektrolyten abgeschiedenen Zersetzungsproduktes immer genau proportional der im ganzen durch den Strom ausgeglichenen elektrischen Ladung ist.

Dieses Gesetz gilt für alle Elektrolyte in völliger Allgemeinheit. Die Zersetzungsprodukte selber können sehr verschiedenartig sein. In den Lösungen der Salze von Schwermetallen tritt an der Kathode meistens nicht Wasserstoff, sondern das betreffende Metall selber auf, also beispielsweise Kupfer, Zink, Silber usw. Es ist bekannt, daß die Gewerbe von diesen Metallabscheidungen häufig Gebrauch machen, sei es um metallische Abdrücke einer (aus leitendem Material hergestellten) Form zu bekommen, sei es um Metallgegenstände mit einem Überzug von anderem Metall (z. B. Nickel) zu versehen. Aus jeder Lösung scheidet eine bestimmte Elektrizitätsmenge, wenn sie hindurchgeht, auch eine bestimmte ihr proportionale Menge des betreffenden Metalls ab. Vergleicht man nun die aus verschiedenen Lösungen durch dieselbe Elektrizitätsmenge an der Kathode ausgeschiedenen Stoffmengen, so findet man, was ebenfalls Faraday zuerst entdeckt hat, von jedem Stoff ge-

nau den gleichen Betrag, wenn man ihn nicht einfach in Grammen, sondern statt dessen in Grammäquivalenten berechnet. Unter Grammäquivalent verstehen wir ein Grammatom dividiert durch die chemische Valenz des betreffenden Stoffes (vgl. S. 87). So sind beispielsweise die Atomgewichte von Wasserstoff H = 1,008, Silber Ag = 107,88, Kupfer Cu = 63,57, Zink Zn = 65,37, Gold Au = 197,2. Von diesen Stoffen sind die zwei ersten chemisch einwertig, die beiden folgenden zwei-, das letzte dreiwertig. Demnach sind 1,008 Gramm Wasserstoff (1 H), 107,88 Gramm Silber (1 Ag), 31,785 Gramm Kupfer ($^1/_2$ Cu), 32,685 Gramm Zink ($^1/_2$ Zn), 65,73 Gramm Gold ($^1/_3$ Au) gleich einem Grammäquivalent des betreffenden Stoffes.

Durch internationales Übereinkommen ist eine Einheit der Ladung festgesetzt worden, die allen Messungen zugrunde zu legen ist, und zwar ist als Einheit die Elektrizitätsmenge definiert worden, die aus einem gelösten Silbersalz 1,118 mg abscheidet. Diese Einheit hat den Namen 1 Coulomb erhalten. Rechnen wir die Silbermenge in Grammäquivalent um, so bekommen wir das Resultat, daß 1 Coulomb die Menge 0,001 118 : 107,88 = 0,000 010 363 Grammäquivalent Silber abscheidet. Um 1 Grammäquivalent Silber zu gewinnen, muß man demnach 96 500 Coulomb durch die Lösung schicken. Diese Ladung scheidet nach dem Faradayschen Gesetz der Elektrolyse auch aus jeder andern Salzlösung, durch die sie hindurchgeht, 1 Grammäquivalent Metall oder Wasserstoff an der Kathode aus, man nennt sie deswegen die Äquivalentladung.

Ganz dasselbe gilt für den an der Anode ausgeschiedenen Stoff. Ist dies Sauerstoff (O = 16), so liefern 96 500 Coulomb immer 8 Gramm Sauerstoff (= $^1/_2$ O, weil Sauerstoff zweiwertig ist). Die Chlorverbindungen liefern an der Anode Chlorgas, und zwar beim Durchgang von 96 500 Coulomb die Menge von 1 Grammatom Cl = 35,46, da Chlor chemisch einwertig ist. Besteht die Anode aus einem leicht oxydierbaren Metall, so pflegt keine Ausscheidung an ihr einzutreten, sondern es bildet sich statt dessen das betreffende Metalloxyd oder Metallsalz, eventuell geht ein Teil des Anodenmetalls in Lösung, und zwar bewirken 96 500 Coulomb dann die Oxydierung oder Auflösung von gerade 1 Grammäquivalent des Metalls.

Mit diesen chemischen Ausscheidungen oder Auflösungen an den Elektroden selbst ist jedoch der ganze chemische Vorgang noch nicht erschöpft. Auch die leitende Salzlösung selber ändert sich in der unmittelbaren Nähe der Elektroden. Entweder ändert sie nur ihre Konzentration, sie wird auf der einen Seite dünner, auf der andern Seite stärker, oder aber es treten außerdem zu dem gelösten Salz auch noch andere Stoffe hinzu. So ist es beispielsweise in einer Lösung von Kaliumsulfat. Setzt man dieser Lösung etwas Lakmustinktur, einen violetten Farbstoff, hinzu, so beobachtet man, daß die violett gefärbte Lösung beim Durchgang des Stromes andere Farben annimmt, in der Nähe der Anode wird sie blutrot, in der Nähe der Kathode blauviolett. Diese Farbenänderungen der Lakmustinktur sind sehr bekannte Reaktionen, das Rotwerden deutet auf die Anwesenheit einer Säure, das Blauwerden auf die Anwesenheit eines Alkalis hin. Die Säure, die bei der Elektrolyse des Kaliumsulfats an der Anode gebildet wird, ist Schwefelsäure (H_2SO_4), das Alkali an der Kathode ist Kalilauge (KOH). Eine sorgfältige Analyse der Lösung in der Nähe der Elektroden nach dem Durchgang von 96 500 Coulomb ergibt folgendes Resultat:

Lösung von K_2SO_4 nach dem Durchgang von 96 500 Coulomb

An der	Anode	Kathode
ist ausgeschieden	$^1/_2$ O	1 H
hat sich neugebildet	$^1/_2$ H_2SO_4	1 KOH
hat sich der Salzgehalt vermindert um	$-0{,}3 \cdot K_2SO_4$	$-0{,}2$ K_2SO_4
hat sich also der Bestandteil K geändert um	$-0{,}6$ Äquivalent	$+0{,}6$ Äquivalent
hat sich also der Bestandteil SO_4 geändert um	$+0{,}4$ Äquivalent	$-0{,}4$ Äquivalent
hat sich Wasser zerspalten in H_2 und O	$^1/_2$ H_2O	$^1/_2$ H_2O

Dabei ist zu bemerken, daß das Kaliumatom (K) chemisch einwertig ist, die Verbindung (das Radikal) SO_4 zweiwertig, wie man aus der Formel K_2SO_4 sieht.

Jonen.

Aus der Tabelle ist zu sehen, daß der chemische Vorgang bei der Elektrolyse des K_2SO_4 im wesentlichen darin besteht,

daß an der Kathode eine gewisse Menge SO_4 verschwindet, K zum Vorschein kommt, und zugleich an der Anode die genau entsprechende Menge SO_4 zum Vorschein kommt, K verschwindet. Da nun kein Stoff wirklich verschwinden und neu entstehen kann, so folgt, daß in dem stromdurchflossenen Elektrolyten Strömungen materieller Teilchen stattfinden. In der Kaliumsulfatlösung strömt der Stoff K in der Richtung von der Anode zur Kathode, es tritt deswegen an der ersten eine Verarmung, an der zweiten eine Anreicherung von K ein. Da die Lösung ganz von K-Teilchen erfüllt ist, so brauchen die einzelnen Teilchen sich nur wenig zu verschieben, damit schon recht starke Änderungen in dem Gehalt der Lösung an den Elektroden, entstehen. In der umgekehrten Richtung wie K strömt gleichzeitig der Stoff SO_4.

Die in der Lösung sich verschiebenden Teilchen nennt man Jonen. Da durch die zur Stromerzeugung benutzte Elektrizitätsquelle, wie wir auf S. 120 ff. gesehen haben, in dem Leiter ein konstantes elektrisches Feld aufrecht erhalten wird, das in der Richtung von der Anode zur Kathode geht, und da dieses Feld die Jonen in Bewegung bringt, so müssen wir schließen, daß sie elektrisch geladene Teilchen sind. Und zwar muß die Ladung der Teilchen, die von der Anode zur Kathode gehen, die man Kationen nennt, positiv sein, die der umgekehrt gehenden Teilchen, der Anionen, dagegen negativ. In der Kaliumsulfatlösung sind die Teilchen des Stoffes K die Kationen, also positiv geladen, die des Stoffes SO_4 die Anionen, also negativ geladen. Da die beiden Arten Teilchen sich unter dem Einfluß des Feldes frei durcheinander bewegen, so ist der Schluß unvermeidlich, daß sie beide völlig voneinander getrennt sind. Sie sind also nicht etwa, wie man früher glaubte, aneinander gekettet, zu Molekülen eines Stoffes K_2SO_4, oder doch wenigstens nur zum kleinsten Teil; die meisten K- und SO_4-Partikelchen schwimmen frei, oder wie man sagt, dissoziiert in dem Wasser herum. Diese Schlußfolgerung aus den Tatsachen der Elektrolyse, die zuerst von Arrhenius gezogen worden ist, hat sich später noch durch manche Tatsachen aus anderen Gebieten der Physik und Chemie auf das vorzüglichste bestätigt gefunden. Das Wasser scheint ganz besonders die Fähigkeit zu haben, gelöste Moleküle in positiv und negativ geladene Partikelchen zu zerspalten, deswegen leiten gerade wässrige Lösungen besonders

gut. Wir können also sagen, daß eine wässrige Salzlösung deswegen ein elektrischer Leiter ist, weil sie eine ungeheure Menge positiver und negativer Partikelchen, getrennt und frei beweglich enthält. Dadurch daß diese Partikelchen, die Jonen, der Kraftwirkung eines elektrischen Feldes nachgeben, erfolgt der Zusammenbruch des Feldes, von dem wir auf S. 111 und 120 gesprochen haben.

Da die wässrige Lösung, wenn man ihr nicht durch besondere Mittel eine Ladung erteilt, ungeladen ist, so müssen die Ladungen der positiven und der negativen Jonen, die in ihr durcheinander schwimmen, sich gerade zusammen aufheben. Nun kommt in der Lösung aber auf 1 Grammäquivalent positiver Jonen immer gerade 1 Grammäquivalent negativer Jonen. In der Kaliumsulfatlösung kommt beispielsweise auf 1 K immer gerade $^1/_2$ SO_4, weil sich beide Stoffe zusammen zu K_2SO_4 ergänzen. Es muß also die gesamte Ladung von 1 Grammäquivalent positiver Jonen immer genau gleich der von 1 Grammäquivalent negativer Jonen sein. Aus den Gesetzen der Elektrolyse geht aber auch hervor, wie groß diese gesamte Ladung ist. Wie man aus der Tabelle auf S. 146 erkennt, tritt die Ausscheidung eines Stoffes an einer Elektrode, beispielsweise Wasserstoff an der Kathode, ein, weil der Stoff, sowohl infolge der Zuführung der einen Jonenart (K) als auch infolge der Wegführung der anderen Jonenart (SO_4) freigemacht wird. In der Kaliumsulfatlösung würde an der Kathode, sowohl das hinzugekommene, wie auch das durch Wegnahme von SO_4 freigewordene K sich abscheiden, wenn es nicht OH aus dem Wasser wegnähme und mit ihm KOH bildete, wobei dann die äquivalente Menge H frei wird. Damit 1 Grammäquivalent des Zersetzungsproduktes entsteht, muß die Summe des zugeführten und des weggeführten Stoffes gerade 1 Grammäquivalent betragen. So scheidet sich beispielsweise in der Kaliumsulfatlösung an der Kathode gerade 1 H ab, wenn 0,6 K hinzu- und $0{,}4 \cdot {}^1/_2\, SO_4$ hinweggegangen ist; in der Tat ist $0{,}6 + 0{,}4 = 1$. Da nun gleichzeitig die Entladung 96500 Coulomb beträgt, so müssen die Kaliumionen die positive Elektrizitätsmenge $0{,}6 \cdot 96500$ Coulomb zur Kathode hingebracht, und die SO_4-Jonen die negative Elektrizitätsmenge $0{,}4 \cdot 96500$ Coulomb weggeführt haben. Wir sehen hieraus, daß die Äquival-

entladung 96500 Coulomb die gesamte Ladung ist, die an den in 1 Grammäquivalent enthaltenen Jonen haftet.

Daraus ergibt sich aber ein Schluß von weitreichender Bedeutung, der zuerst von Helmholtz gezogen worden ist. In einem Grammäquivalent einwertiger Jonen ist nach S. 90 stets eine und dieselbe Zahl von Partikelchen ν enthalten. Alle einwertigen Jonen haben demnach dieselbe Ladung, nämlich $96500:\nu = \varepsilon$ Coulomb. Die Zahl der Partikelchen in einem Grammäquivalent zweiwertiger Jonen ist $\nu/2$. Als ihre Ladung ergibt sich daher $2\,\varepsilon$ Coulomb. Ebenso ist die Ladung eines dreiwertigen Jons $3\,\varepsilon$, die eines vierwertigen $4\,\varepsilon$ usf.

In Elektrolyten kommen nur solche Mengen elektrischer Ladungen vor, die ganzzahlige Vielfache einer ganz bestimmten Größe ε sind; diese Größe nennt man das Elementarquantum der elektrischen Ladung.

In den Elektrolyten hat demnach die elektrische Ladung eine **atomistische** Zusammensetzung. Die kleinste, nicht weiter teilbare Ladung ε, die wir heute das Elementarquantum nennen, wurde deswegen von Helmholtz direkt als Elektrizitätsatom bezeichnet.

Leitende Gase.

Die Gase, für die uns die atmosphärische Luft als Beispiel dienen kann, sind im allgemeinen vortreffliche Isolatoren. Indessen gibt es doch allerlei Mittel, um sie elektrisch leitend zu machen. Zu diesen Mitteln gehören die chemischen Vorgänge bei der Verbrennung. Das Gas, das gerade frisch aus einer Flamme emporsteigt, ist stets elektrisch leitend, wie man schon seit mehr als hundert Jahren weiß. Ein zweites Mittel ist: Berührung des Gases mit einem glühenden Körper. Es wird dann leitend besonders wenn der Körper weißglühend ist. Ein drittes Mittel sind gewisse Strahlenarten, wie die Röntgenstrahlen und die von den sog. radioaktiven Körpern ausgehenden Strahlungen, welche das Gas, das sie durchdringen, zu einem Leiter machen. Die Leitfähigkeit, die das Gas durch solche Mittel bekommt, ist allerdings nur schwach, etwa wie die von Holz oder Papier. Wenn das leitend gemachte Gas sich einige Minuten überlassen bleibt, nachdem die Wirkung aufgehört hat,

die die Leitfähigkeit hervorbrachte, so wird es von selbst wieder nichtleitend.

Eine der wichtigsten Tatsachen, die man an leitenden Gasen beobachtet hat, ist, daß das Gas seine Leitfähigkeit so gut wie momentan völlig verliert, wenn man es in ein genügend starkes elektrisches Feld hineinbringt. Diese Tatsache läßt nur eine Erklärung zu, nämlich, daß die Leitfähigkeit des Gases auf der Anwesenheit beigemengter Partikelchen beruht, die ihm durch das elektrische Feld entzogen werden. Da die Partikelchen durch das elektrische Feld fortbewegt werden, so müssen sie elektrisch geladen sein. Bringt man das Gas beispielsweise in den Raum zwischen zwei entgegengesetzt elektrisch geladenen Metallplatten, so treibt das elektrische Feld die positiv geladenen Partikelchen zu der negativen Metallplatte hin, wo sie sich niederschlagen, die negativ geladenen Partikelchen aber werden nach der andern Seite hin entfernt. Wir sehen also, daß das Gas seine Leitfähigkeit, genau so wie ein Elektrolyt, der Anwesenheit frei beweglicher Ionen verdankt, es ist, wie man sagt, ionisiert. Hört die ionisierende Wirkung auf, so verliert es nach und nach seine Ionen, weil je ein positiv und ein negativ geladenes Teilchen, wenn sie einander zu nahe kommen, sich anziehen und zu einem neutralen Molekül vereinigen. So erklärt sich der spontane Verlust der Leitfähigkeit. Im Elektrolyten ist das anders, weil in ihm durch die dissoziierende Kraft des Wassers für die durch Wiedervereinigung verloren gehenden Ionen immer in reichem Maße Ersatz geschaffen wird, in ihm hört die ionisierende Wirkung nie auf.

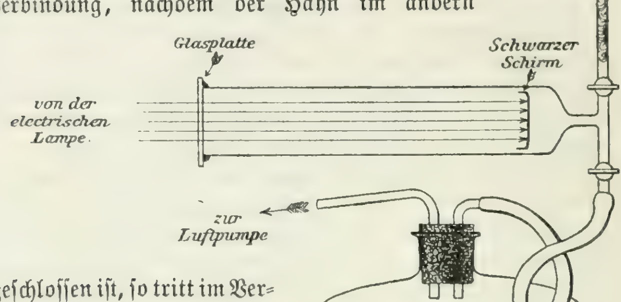
Die meisten Untersuchungen über künstlich ionisierte Gase und ihre Ionen sind von dem englischen Forscher J. J. Thomson und seinen Schülern angestellt worden. Ich möchte dem großen Material, das uns jetzt vorliegt, nur eine Tatsache entnehmen, die mir besonders wichtig erscheint. Die Ionen sind dem Gase beigemengt, wie die Moleküle irgendeines fremden Gases; wir können geradezu von einem Ionengas oder besser von zwei gleichzeitig vorhandenen Ionengasen sprechen. Diese Ionengase diffundieren in ein ionenfreies Gas hinein nach denselben Gesetzen, wie irgendwelche fremden Gase (vgl. S. 39 ff), und man hat ihre Diffusionsgeschwindigkeit messen können. Nun findet man bei verschiedenen Gasen meistens dann ein analoges Verhalten, wenn man ihre Konzentrationen in Gramm-

molekülen angibt, man denke beispielsweise an das Avogadrosche Gesetz (S. 38 und 89). Die Geschwindigkeit der Diffusion macht es uns möglich, zu berechnen, welchen Reibungswiderstand alle Teilchen eines gewissen Gasquantums, das in sehr verdünntem Zustand durch ein konzentriertes Gas hindurch diffundiert, dabei insgesamt erfahren, wenn man dieses Gasquantum in Grammolekülen rechnet. Andererseits hängt die Geschwindigkeit, mit welcher die Jonen in einem elektrischen Feld bewegt werden, von dem Verhältnis ihrer elektrischen Ladung zu ihrem Reibungswiderstand ab. Nun kann man die Geschwindigkeit der Jonen im elektrischen Feld in cm/sec messen, und daher das genannte Verhältnis berechnen. Da man aber den gesamten Widerstand der in einem Grammolekül vorhandenen Teilchen kennt, so ergibt sich daraus dann die gesamte elektrische Ladung, die auf ein Grammolekül Jonen kommt. Es hat sich herausgestellt, daß diese Ladung sowohl bei den positiven wie bei den negativen Jonen ziemlich gleich der Äquivalentladung ist. Selbstverständlich ist die gefundene Zahl nicht genau, da ziemlich große Fehler in den Messungen nicht zu vermeiden sind. Jedenfalls ist sie aber nur wenig größer als 96 500 Coulomb gefunden. Es wird wohl anzunehmen sein, daß die ungefähre Übereinstimmung mit der von den wässrigen Elektrolyten bekannten Zahl kein Zufall ist, und man wird den Schluß ziehen, daß *die Ladung der Jonen eines leitenden Gases im allgemeinen dieselbe ist, wie die von chemisch einwertigen Jonen in einem Elektrolyten, nämlich das Elementarquantum.* Höchst wahrscheinlich sind den „einwertigen" Gasionen auch einige „zwei- und mehrwertige" beigemengt, daraus erklärt sich der etwas größere Wert, den man für die Ladung eines Grammoleküls der Gasionen gefunden hat.

Jonennebel.

Eine interessante Eigenschaft der Gasionen ist, daß sie sehr leicht als Kerne für Nebeltröpfchen dienen. Man kann die Bildung von Nebel aus Wasserdampf mit einem Apparat beobachten, der in Fig. 31 abgebildet ist. Ein luftdicht geschlossener Glaszylinder, der in seiner Längsrichtung von den Strahlen einer elektrischen Lampe durchsetzt wird, geht auf seiner Rückseite in ein T-Stück über, dessen beide Zweige durch Hähne ab-

geschlossen werden können. Das eine Rohr mündet frei in der Luft, öffnet man also den Hahn, so gleicht sich der Luftdruck in dem Versuchszylinder mit dem der atmosphärischen Luft aus. Das andere Rohr ist durch einen dicken Gummischlauch mit einer großen Glasflasche verbunden, in welcher der Luftdruck mit einer angeschlossenen Luftpumpe um einen bestimmten Betrag herabgesetzt worden ist. Öffnet man den Hahn in der zur großen Flasche führenden Verbindung, nachdem der Hahn im andern



Rohr geschlossen ist, so tritt im Versuchszylinder plötzlich eine Expansion ein, die von einer Temperaturerniedrigung begleitet ist. Hat man nun, ehe die Versuche beginnen, in den Versuchszylinder so viel Wasser hineingetan, daß der Boden überall damit bedeckt ist, so ist die Luft in dem Raum mit gesättigtem Wasserdampf gemischt. Es tritt dann bei der Abkühlung durch Expansion eine Nebelbildung ein, die man in dem Lichtstrahlenbündel, das den Zylinder durchsetzt, sehr deutlich sieht.

Fig. 31. Jonennebel.

Man kann zunächst konstatieren, daß bei einer nicht gar zu starken Expansion nur dann Nebelbildung eintritt, wenn gewisse Kondensationskerne für die Wassertröpfchen vorhanden sind. Im allgemeinen dienen dazu die Staubkörnchen, die der Luft beigemischt sind. Um die Staubkörnchen möglichst abzuhalten, ist, wie Fig. 31 zeigt, das Luftzuleitungsrohr mit Watte gefüllt, und in diesem Wattepfropfen fangen sich die Staubkörnchen der

eingelassenen Luft. Wenn anfänglich in dem Versuchszylinder noch Stäubchen vorhanden waren, so werden diese bald entfernt, wenn man mehrmals eine Nebelbildung hervorruft. Die Nebeltröpfchen fallen nämlich infolge ihrer Schwere zu Boden und mit ihnen die Staubkörnchen. Durch den Wattepfropfen hindurch wird die bei der Expansion herausgegangene Luft immer wieder ersetzt. Schließlich bleibt die Luft bei Wiederholung des Versuches klar; es kann sich also kein Nebel bilden, wenn nicht Partikelchen vorhanden sind, an denen sich das Kondensationswasser in Form kleiner Tröpfchen niederschlagen kann. Wenn man nun die Luft ionisiert, etwa dadurch, daß man Röntgenstrahlen durch den Versuchszylinder gehen läßt, und dann aufs neue expandiert, so bildet sich in der Luft, die vorher bei dem Versuch ganz klar blieb, ein dicker Nebel. Die Ionen sind es, die jetzt die Nebelbildung veranlassen, jeder Nebeltropfen ist gewissermaßen ein durch die Belastung mit Wasser zu sichtbarer Größe angeschwollenes Ion.

Die Bildung von Wassertopfen um ein elektrisch geladenes Partikelchen als Kern ist für die Erklärung mancher meteorologischer Erscheinungen von höchstem Interesse. Man denke beispielsweise an die elektrisch geladenen Wolken bei Gewittern. Die atmosphärische Luft ist stets ein klein wenig ionisiert, und ist es sehr wahrscheinlich, daß ihre Ionen die Kerne der elektrisch geladenen Wolken und Nebel bilden.

Messung des elektrischen Elementarquantums.

J. J. Thomson kam auf den Gedanken, die Nebeltröpfchen, das heißt also: die in der leitenden Luft vorhandenen Ionen zu zählen. Da man die gesamte Ladung der Ionen bestimmen kann, wenn man sie auf zwei entgegengesetzt geladene Metallplatten niederschlägt und dabei mißt, wieviel von der Ladung der Metallplatten ausgeglichen wird, so läßt sich dann die Ladung eines einzelnen Ions berechnen, man hat einfach die gesamte gefundene Ladung durch die Zahl der Teilchen zu dividieren. Die verschiedenen Messungen, die Thomson vornahm, führten einigermaßen übereinstimmend zu einem Wert für das Elementarquantum: $\varepsilon = 1{,}1 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Die Methode von Thomson, die ich eben flüchtig skizziert habe, ist von H. A. Wilson wesentlich verbessert worden. Wilson bestimmte erstens die Größe und damit das Gewicht der Nebel-

tröpfchen, indem er ihre Fallgeschwindigkeit beobachtete; große Tropfen fallen schneller als kleine und es gibt eine mathematische Formel, die auch experimentell öfters nachgeprüft worden ist, nach der man die Größe eines Tröpfchens aus seiner Fallgeschwindigkeit berechnen kann. Als zweites beobachtete er, wie die Fallgeschwindigkeit der Teilchen durch ein elektrisches Feld, dessen Linien senkrecht gehen, verändert wird. Man kann dann das Verhältnis der Kraft des elektrischen Feldes zu der Kraft der Schwere berechnen, und weiter, da das Gewicht bekannt ist, die Kraft selber, welche das elektrische Feld auf die Teilchen ausübt. Diese Kraft ist proportional mit der Feldstärke und mit der Ladung der Teilchen. Man braucht also nur noch die Stärke des angewandten Feldes zu messen, was sehr leicht zu machen ist, um so direkt die Ladung der Teilchen zu erhalten. Nach dieser Methode sind seither von mehreren Forschern Messungen ausgeführt, besonders sorgfältige von Millikan. Nach ihm besitzt der bei weitem größte Teil der Nebeltröpfchen eine Ladung von ungefähr $1{,}52 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Diese Zahl ist sicher wesentlich genauer, als die oben angeführte Thomsonsche Zahl. Aber Millikan ging noch weiter. Er konnte unter Anwendung einer schwachen Vergrößerung einzelne Nebeltropfen bei ihrer Fallbewegung beobachten, und so die Ladung von den einzelnen Tropfen selbst bestimmen. Er suchte sich dazu Tropfen aus, die sich mit einem dem Fallen entgegenwirkenden elektrischen Feld ganz zum Stillstehen bringen ließen. Ein solches Tröpfchen kann man längere Zeit im Auge behalten, um seine Ladung sicher und genau zu messen. Allerdings blieb für die überwiegende Mehrheit der Tröpfchen die elektrische Kraft stets gegenüber der Schwere zu klein, und die Methode ließ sich nur auf die vereinzelt vorkommenden Tröpfchen anwenden, die eine größere Ladung haben als 1 Elementarquantum. Millikan fand, daß die folgenden Tropfenladungen vorkommen: $3{,}09 \cdot 10^{-19}$; $4{,}50 \cdot 10^{-19}$; $6{,}08 \cdot 10^{-19}$; $8{,}05 \cdot 10^{-19}$; $9{,}39 \cdot 10^{-19}$. Diese Zahlen sind sehr nahezu ganzzahlige Multipla einer und derselben Zahl $\varepsilon = 1{,}55 \cdot 10^{-19}$, nämlich: $2\,\varepsilon$, $3\,\varepsilon$, $4\,\varepsilon$, $5\,\varepsilon$, $6\,\varepsilon$. Bei späteren außerordentlich sorgfältigen Untersuchungen fand Millikan diese Tatsache immer wieder aufs beste bestätigt. Unter Ausschaltung einiger Fehlerquellen, die er früher noch nicht ganz vermieden hatte, bekam er als Resultat seiner neuesten Messungen: $\varepsilon = 1{,}63 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Aus diesen Untersuchungen geht auf

das bestimmteste hervor, daß auch an den Gasionen die elektrischen Ladungen nur als ganzzahlige Multipla eines nicht weiter teilbaren Elementarquantums vorkommen, das Elementarquantum beträgt $1{,}63 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Da nun die gesamte Ladung eines Grammäquivalents von Jonen 96 500 Coulomb beträgt, so ist die Zahl der in einem Grammatom vorhandenen einzelnen Atome $\nu = 96\,500 : 1{,}63 \cdot 10^{-19} = 0{,}592 \cdot 10^{+24}$. Und daraus ergibt sich nach S. 90 die Loschmidtsche Zahl $N = 0{,}592 \cdot 10^{24} : 22\,330$, also: $N = 26{,}5 \cdot 10^{18}$.

Glimmentladung.

Ein Gas kann auch durch gewisse Wirkungen eines starken elektrischen Feldes ionisiert werden, und, wenn dann einmal erst ein elektrischer Strom in Gang gekommen ist, kann dieser selbst die Jonisierung weiter verstärken. Diese Ströme, die selber immer wieder neue Jonen schaffen, ohne daß also die Jonisierung des Gases künstlich aufrecht erhalten zu werden braucht, nennt man selbständige Entladungen oder auch kurz Entladungen in dem Gas. Es gibt zwei prinzipiell voneinander verschiedene Entladungsarten: 1. die Entladung mit kalten Elektroden oder die Glimmentladung, 2. die Entladung mit weißglühenden Elektroden (wenigstens mit glühender Kathode), die auch die Lichtbogenentladung genannt wird. Es würde hier zu weit führen, wenn ich die höchst interessanten Vorgänge bei diesen Entladungen genau beschreiben wollte, man könnte damit allein ein kleines Buch ausfüllen. Es ist aber notwendig, auf die Glimmentladung ein wenig näher einzugehen, weil ihr Studium zu neuen höchst überraschenden Aufschlüssen über das Wesen der materiellen Atome geführt hat.

Am schönsten und reinsten erhält man die Glimmentladung, wenn man dem Gas einen niedrigen Druck gibt. Ein Glasgefäß mit eingeschmolzenen Elektroden, das bis auf einen recht kleinen Druck (1 mm Quecksilber oder noch weniger) ausgepumpt ist, nennt man eine Geißlersche Röhre. Fig. 32 zeigt die Glimmentladung in einer Geißlerschen Röhre. Man sieht, daß das Licht, welches die Entladung begleitet, im wesentlichen aus zwei Teilen besteht. Auf der linken Seite der Abbildung sehen wir die Kathode, sie ist rings von einem bläulichen Lichtnebel umgeben, dem negativen Glimmlicht,

das nach rechts hin ganz allmählich in einen lichtlosen Zwischenraum, den Faradayschen Dunkelraum, übergeht. Von dem Faradayschen Dunkelraum bis an die Anode erstreckt sich ein langes Lichtband, die positive Lichtsäule, welche, wie Fig. 32 zeigt, häufig in viele kleine, durch dunkle Zwischenräume getrennte Lichtscheibchen, die Schichten, zerfällt. Es ist auf mancherlei Weise experimentell festgestellt worden, daß die Anwesenheit von Licht an einer Stelle anzeigt, daß sich dort stark ionisierende Prozesse abspielen. An den dunklen Stellen wird der Strom durch die aus den benachbarten Jonisierungszentren in sie eindringenden Jonen gebildet, ohne daß hier eine Neubildung von Jonen hinzukommt. Um den Vorgang der Entladung zu verstehen, müssen wir demnach unsere Auf-

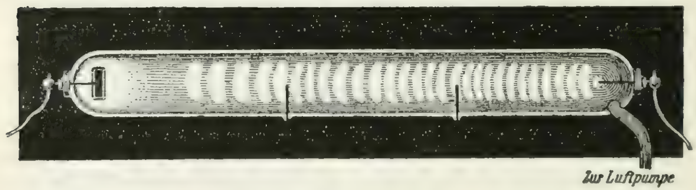


Fig. 32. Glimmentladung.

merksamkeit besonders auf die leuchtenden Partien der Strombahn richten.

Man kann die beiden Elektroden in der durch Fig. 32 dargestellten Röhre einander sehr leicht näher bringen, wenn man einfach den positiven Pol der Elektrizitätsquelle an eine der in der Zeichnung angedeuteten Zwischenelektroden legt, während man die Kathode ungeändert läßt. Tut man dies, so findet man, daß sich in dem Maße, als sich die Elektroden nähern, die positive Lichtsäule verkürzt, während die Leuchterscheinungen um die Kathode herum und der Faradaysche Dunkelraum völlig ungeändert bleiben. Sitzt die Anode im Faradayschen Dunkelraum, oder sogar schon in dem bläulichen Kathodenglimmlicht, so verschwindet einfach die positive Lichtsäule vollständig, während das Kathodenglimmlicht auch jetzt durch die Lage der Anode in keiner Weise beeinflußt wird.

Es kann eine Glimmentladung geben, die nur in den Vorgängen besteht, die sich durch das nega-

tive *Glimmlicht anzeigen*; es ist aber keine Glimmentladung möglich, in der diese Vorgänge fehlen; sie sind also das Wesentliche an dieser Entladungsform.

Wir schließen hieraus, daß die primäre Quelle der Jonen, die das Gas in der Röhre zum Leiter machen, in den Vorgängen an der Kathode zu suchen ist. Die positive Lichtsäule enthält nur sekundäre Jonenquellen, die zu der Hauptionisierungszentrale an der Kathode hinzutreten, wenn die Strombahn so lang ist, daß die primär an der Kathode gelieferten Jonen nicht für den ganzen Weg ausreichen. Es ist daher zu erwarten, daß wir an der positiven Lichtsäule nichts wesentlich neues kennen lernen werden, wenn wir erst über die Kathodenvorgänge im klaren sind. Diese Erwartung ist in der Tat durch die genaueren Untersuchungen bestätigt, und wir werden uns deswegen hier nur mit den Vorgängen an der Kathode beschäftigen.

Das negative Glimmlicht ist um so voluminöser, je niedriger der Gasdruck ist. Aus diesem Grunde ist es vorteilhaft, die Glimmentladung bei niedrigen Drucken zu beobachten. Sie ist bei größeren Drucken nicht wesentlich anders, aber man kann die Details der Kathodenvorgänge nur bei niedrigen Drucken deutlich erkennen. Ist der Druck genügend klein, so sieht man, was auch in Fig. 32 angedeutet ist, daß das negative Licht unter allen Umständen aus drei Schichten besteht, deren jede einzeln um so mehr Raum einnimmt, je dünner das Gas ist. Die innerste Schicht ist ein *Lichtsaum*, der das Kathodenmetall dicht wie ein Mantel umkleidet. Er ist umgeben von einer lichtlosen, dunklen Schicht, dem *Kathodendunkelraum*, der nach seinem Entdecker auch der *Hittorfsche Dunkelraum* genannt wird. Die äußerste Schicht, die den Kathodendunkelraum umgibt, ist endlich der weit ausgedehnte bläuliche Lichtnebel, den wir speziell das *Glimmlicht* nennen.

Da ohne diese Glimmlichterscheinung keine Entladung möglich ist und da sie andererseits einen bestimmten Raum in Anspruch nimmt, so erhebt sich die Frage: Was wird, wenn wir den Raum für das Kathodenglimmlicht einschränken? Die Antwort läßt sich leicht auf experimentellem Wege finden, wenn man ein nicht gar zu großes Gefäß mit Elektroden weiter und weiter evakuiert. Solange der Platz für die regelrechte Ausbildung der Kathodenvorgänge bequem ausreicht, findet man,

daß die Entladung bei einer verhältnismäßig niedrigen Spannung (weniger als 1000 Volt) übergeht. Von dem Moment an aber, wo das Volumen des Kathodenglimmlichts so weit angeschwollen ist, daß es an Platz zu fehlen beginnt, steigt die Spannung, während man weiter evakuiert, rapide, und es kann schließlich so weit kommen, daß eine Spannung, die außen in der Luft dezimeterlange Funken hervorruft, noch nicht für die Entladung in dem evakuierten Raum ausreicht. Man erkennt hieraus wieder, daß das Wesentliche an der Glimmentladung die Vorgänge um die Kathode sind. Wenn es an Platz für die normale Ausbildung fehlt, bekommen sie als Ersatz dafür durch die Wirkung der hohen Spannung eine größere Intensität, und deswegen haben sich nun die Entladungserscheinungen in hochevakuierten Gefäßen als besonders wichtig für das Studium des eigentlichen Wesens der Kathodenvorgänge einer Glimmentladung erwiesen. Wenn man das Entladungsgefäß weiter und weiter evakuiert, werden die drei Schichten des Kathodenlichtes allmählich immer unschärfer, so daß man sie schließlich überhaupt gar nicht mehr erkennen kann. Man sieht dann ein allgemeines, graues nebelhaftes Licht im Gasinhalt und auch dies nur sehr schwach; desto stärker tritt dafür ein ganz anderes Leuchten auf: Die Glaswand des Gefäßes leuchtet intensiv, und zwar je nach der Sorte des Glases entweder grün oder blau. Dieses Leuchten des Glases ist auch bei höheren Drucken zu bemerken, wenn man die Glaswand recht aufmerksam ansieht, es ist dann nur sehr schwach. Es ist sicher festgestellt, daß es durch dasselbe von der Kathode ausgehende Agens hervorgebracht wird, das bei den höheren Drucken im Gase das blaue Glimmlicht erregt. Durch einfache Versuche läßt sich ferner streng beweisen, daß dieses Agens nichts anderes ist, als eine eigentümliche Strahlenart, welche von der Oberfläche der Kathode ausgeht. Man kann die schattenwerfende Wirkung fester Körper beobachten, die Absorption messen, die die Strahlen in verschiedenen Stoffen erfahren, und so fort. Sie zeigen durchweg ein ganz anderes Verhalten als Lichtstrahlen, sie erfahren beispielsweise niemals eine Brechung und werden nicht regelmäßig reflektiert. Dagegen werden sie in einem elektrischen Feld und in anderer Weise auch in einem magnetischen Feld nach einfachen, quantitativ festzustellenden Gesetzen abgelenkt. Ferner erteilen sie Körpern,

welche sie absorbieren, eine negativ elektrische Ladung. Alle ihre Eigenschaften lassen sich nur auf eine Weise verständlich deuten, nämlich wenn man annimmt, daß sie aus materiellen Partikelchen bestehen, welche in der Strahlenrichtung von der Kathode abfliegen, und zwar Partikelchen, die eine negative Ladung besitzen. Mit dieser Theorie stimmen alle Beobachtungen, die man an den Kathodenstrahlen hat machen können, auf das vorzüglichste überein.

Die Elektronen.

Durch quantitative Versuche hat sich feststellen lassen, daß in allen Gasen und bei allen Kathoden, aus welchem Metall man sie auch herstellen mag, die Kathodenstrahlpartikelchen dieselben sind. Es muß sich also um Teilchen handeln, die nicht an bestimmte Elemente gebunden sind, sondern die in allen chemischen Atomen vorkommen und sich von den Atomen loslösen können. Es ist nun gelungen, durch geeignete Messungen das Verhältnis der Ladung zu der trägen Masse eines solchen Partikelchens festzustellen. Setzt man voraus, daß die Ladung eines einzelnen Partikelchens, das ja ein Gasion darstellt, gleich dem Elementarquantum ist, so findet man, daß die träge Masse eines Kathodenstrahlpartikelchens nur der 1750. Teil von der trägen Masse eines Wasserstoffatoms ist. *Das Atomgewicht der Kathodenstrahlpartikelchen ist also*: 0,00058, außerordentlich viel kleiner als das Atomgewicht irgendeines chemischen Elementes.

Durch die Untersuchung der Kathodenstrahlen ist man demnach auf einen vorher ganz unbekannten neuen Stoff gestoßen. Daß die Kathodenstrahlteilchen wirklich materielle Teilchen sind, ist wohl selbstverständlich. Sie sind greifbar, denn man kann sie in Gefäßen auffangen; sie können sich bewegen und zeigen dabei eine bestimmte, meßbare Trägheit. Damit zeigen sie also alle charakteristischen Merkmale der Materie. Andererseits können wir sie aber nicht etwa als ein neues chemisches Element bezeichnen. Denn erstens lassen sie sich aus den verschiedensten chemischen Elementen abspalten, zweitens ist es unmöglich, aus ihnen allein einen großen zusammenhängenden Körper aufzubauen. Man hat sie nämlich, wo sie auch vorkommen, immer mit einer negativen Ladung behaftet gefunden,

und es ist wohl als sicher anzusehen, daß die negative Ladung von ihnen nicht getrennt werden kann. Hätte man also nur Kathodenstrahlpartikelchen zur Verfügung, so würden die starken elektrischen Kräfte, die ihren Ladungen entsprechen, sie immer voneinander wegstoßen, so daß niemals ein zusammenhängendes Gebilde zustande kommen könnte. Nur als Teile der chemischen Atome, in denen wir sie durch positive Ladungen kompensiert annehmen müssen, können sie an dem Aufbau der großen sichtbaren materiellen Körper teilnehmen. Um den universellen Charakter der in den Kathodenstrahlen entdeckten Partikelchen und zugleich ihre Wesenseigentümlichkeit, die in der unverlierbaren elektrischen Ladung besteht, auszudrücken, hat man ihnen den Namen Elektronen gegeben. Elektronen sind also selbst keine chemischen Atome, aber Bestandteil aller Atome.

Seitdem man die Elektronen einmal in den Kathodenstrahlen gefunden hatte, traf man noch oft auf sie, was ja bei ihrer allgemeinen Verbreitung nicht Wunder nehmen kann. Beispielsweise werden von einem weißglühenden festen Körper Elektronen in die Luft geschleudert. Diese Elektronenemission steht mit der Jonisierung der Luft in der Umgebung eines glühenden Körpers, von der auf S. 149 die Rede war, in Zusammenhang. Ferner hat sie zur Folge, daß die Kathode einer elektrischen Entladung, wenn sie in Weißglut ist, ungeheuer viel mehr Jonen liefert, als eine kalte Kathode. Deswegen zeigt die Entladung mit glühender Kathode, die Lichtbogenentladung, einen ganz andern Charakter als die Glimmentladung mit kalter Kathode, vor allem hat sie eine viel größere Stromstärke. Ein anderes Beispiel für das Austreten von Elektronen aus festen Körpern ist die sogenannte lichtelektrische Wirkung. Wenn man ein Metall mit kurzwelligen Lichtstrahlen, am besten mit ultravioletten Strahlen, belichtet, so werden aus ihm Elektronen losgelöst und treten in die Luft.

In der Glimmentladung spielen die als Kathodenstrahlen auftretenden, schnell bewegten Elektronen die Rolle des ionisierenden Agens. Die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlen hat zuerst Lenard festgestellt, dem es gelungen war, sie durch ein mit feiner Alluminiumfolie verschlossenes kleines Diaphragma aus der hochevakuierten Röhre ins Freie treten zu lassen. Man kann mit der so gewonnenen Strahlung Experi-

mente anstellen, die nun in keinerlei Zusammenhang mit der Entladung in der Röhre stehen. Man beobachtet dann, daß Luft und andere Gase die Strahlen stark absorbieren, indem sie gleichzeitig ionisiert werden und ein bläuliches Licht aussenden, das vollkommen identisch ist mit dem Kathodenglimmlicht. Wahrscheinlich ist die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlen dadurch zu erklären, daß die sehr schnell fliegenden Elektronen die Gasmoleküle, auf die sie treffen, in Jonen zerstoßen. Jn dem Geißlerschen Rohr wird die ionisierende Wirkung noch durch das elektrische Feld an der Kathode kolossal erhöht, weil dieses die aus den Gasmolekülen ausgetriebenen Elektronen so stark in Bewegung setzt, daß sie ebenfalls, als „sekundäre Kathodenstrahlen" ionisierend wirken. Deswegen beobachtet man, daß die Jonisierung durch die Kathodenstrahlen, wenn sie erst angefangen hat, nämlich am innern Rand des negativen Glimmlichts, sofort sehr energisch ist. Man erkennt das an der großen Helligkeit des blauen Glimmlichtes, das die Jonisierung begleitet. Der dunkle Kathodenraum erklärt sich daraus, daß die mit großer Geschwindigkeit von der Kathode abfliegenden Elektronen erst nach Zurücklegung eines gewissen Weges das erste Gasmolekül treffen. Und zwar durchläuft die große Mehrzahl der von der Kathode abgehenden Elektronen einen freien Weg von ungefähr derselben Länge. Diese freie Weglänge der Elektronen ist also gleich der Dicke des dunklen Kathodenraums, sie ist um so größer, je dünner das Gas ist. Nach der äußeren Seite des Glimmlichts wird das elektrische Feld schwächer und die Bewegung der Elektronen verliert allmählich ihre große Geschwindigkeit, deswegen hört da die ionisierende Wirkung nach und nach auf, was man an dem allmählichen Schwächerwerden des blauen Glimmlichtes erkennt.

Kanalstrahlen.

Der Vorgang, wodurch die in den Kathodenstrahlen fliegenden Elektronen aus der Oberfläche der Kathode und wahrscheinlich auch aus dem Gas unmittelbar vor der Kathode frei gemacht werden, wird durch den Lichtsaum angedeutet. Wenn man in die Kathode Löcher bohrt, und hinter ihr ein großes Gefäß anordnet, welches mit dem Entladungsraum nur durch diese „Kanäle" der Kathode kommuniziert, so beobachtet man, wie zuerst Goldstein gefunden hat, daß sich der Lichtsaum durch

die Kanäle hindurch in langen leuchtenden Streifen fortsetzt, welche senkrecht von der Kathode weggehen. Diese Lichtstreifen bezeichnen die Bahn einer zweiten Art von Strahlen, welche ebenfalls aus schnell fliegenden materiellen Teilchen gebildet werden, man nennt sie Kanalstrahlen. Die Kanalstrahlen sind sehr eingehend hauptsächlich von W. Wien untersucht worden. Die Partikelchen, aus denen sie bestehen, sind in der Hauptsache positiv elektrisch geladen, und man kann für sie ebenso gut wie für die Kathodenstrahlen das Verhältnis aus Ladung und Masse bestimmen. Es ergeben sich Zahlen, die Atomen mit der Ladung 1 Elementarquantum entsprechen. Beispielsweise beträgt das Verhältnis, wenn die Entladungsröhre mit Wasserstoff gefüllt ist, ungefähr 100 000 Coulomb pro Gramm, ziemlich genau entsprechend dem Verhältnis der Äquivalentladung 96 500 zu dem Atomgewicht des Wasserstoffs 1. Ist das Gas Sauerstoff, so ergibt sich für das Verhältnis ungefähr der 16. Teil von der bei Wasserstoff gefundenen Zahl, entsprechend dem Atomgewicht des Sauerstoffs 16. Die Verhältnisse lassen sich nicht so genau bestimmen wie für die Kathodenstrahlen infolge eines sehr charakteristischen Unterschiedes zwischen den beiden Strahlenarten. Während nämlich alle Kathodenstrahlpartikelchen ausnahmslos eine konstante negative Ladung haben, erweisen sich die Kanalstrahlen bei genauerer Untersuchung als ein Gemisch von positiv geladenen und ungeladenen Atomen, denen sogar noch negativ geladene beigemengt sein können. Dabei behalten die Partikelchen keineswegs die Ladung, die sie einmal haben, konstant bei, sondern sie wechseln sie fortwährend, ein positives Partikelchen wird also nach einiger Zeit ungeladen, lädt sich dann wieder positiv, gelegentlich wohl auch einmal negativ und so fort. Es läßt sich ferner aus den Beobachtungen folgern, daß, wie bei allen Jonen, so auch hier die Änderungen der Ladung nicht kontinuierlich erfolgen, sondern stets so, daß das Partikelchen ein ganzes Elementarquantum aufnimmt oder abgibt. Seine träge Masse erfährt bei dem Wechsel der Ladung keine bemerkbare Veränderung.

Nachdem wir mit den Elektronen bekannt geworden sind, setzen diese Erfahrungen an den Kanalstrahlen der Deutung keine Schwierigkeit entgegen. Ein Atom kann ein Elektron abspalten; war es vorher ungeladen, so ist es nach der Abspaltung

mit einem positiven Elementarquantum geladen, weil die Entziehung einer negativen Ladung auf dasselbe hinauskommt wie die Hinzufügung einer positiven. Nimmt das positiv geladene Partikelchen, während es durch das Gas hindurchfliegt, das immer etwas ionisiert ist, also Elektronen enthält, ein Elektron auf, so wird es wieder ungeladen, ein weiteres Elektron kann es negativ geladen machen. So erfolgen alle Änderungen der Ladung des Teilchens stufenweise, und die träge Masse wird nicht merklich geändert, weil die Masse des Elektrons gegen die eines Atoms verschwindend klein ist.

Die Kanalstrahlen entstehen am innern Rande des negativen Glimmlichts, wo durch die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlen eine Menge Jonen vorhanden sind, nämlich Elektronen und positive Restatome. Während das elektrische Feld die Elektronen weiter wegbefördert, werden die positiven Teilchen zu der Kathode hingezogen und bekommen, da das elektrische Feld erfahrungsgemäß im dunklen Kathodenraum besonders stark ist, schließlich eine sehr bedeutende Geschwindigkeit. Ist ein Loch in der Kathode, so können sie hindurchfliegen und einen Kanalstrahl bilden, sonst prallen sie heftig auf die Kathode auf. Die Kanalstrahlen ionisieren, ähnlich wie die Kathodenstrahlen, das Gas, durch das sie hindurchfliegen, außerdem machen sie auch aus einem festen Körper, auf den sie auftreffen, in großer Menge Elektronen frei. So schaffen also die Kanalstrahlen aus der Kathode und aus dem Gasraum vor ihr (dem Lichtsaum) die für die Kathodenstrahlen nötigen Elektronen, andererseits liefern die Kathodenstrahlen in dem blauen Glimmlicht die positiven Teilchen der Kanalstrahlen. In dieser Weise halten sich beide Vorgänge gegenseitig aufrecht, nachdem sie überhaupt erst einmal durch gewisse einleitende Prozesse in Gang gebracht worden sind, und so bekommen wir die kontinuierliche Glimmentladung.

Die innere Struktur der Atome.

Es ist schon in einem früheren Kapitel (S. 92) hervorgehoben worden, daß wir uns unter dem Namen Atome keineswegs mehr die letzten Teilchen der Materie denken, die man ursprünglich mit diesem Wort bezeichnen wollte. Vielmehr haben die chemischen Atome sicher eine außerordentlich komplizierte

Struktur. Es ist natürlich nach dem heutigen Stande der Wissenschaft ganz unmöglich, diese Struktur genau zu beschreiben, indessen geben uns die zuletzt berichteten Tatsachen doch immerhin eine Aufklärung darüber, aus welchen Elementen ein Atom sich aufbaut. Sie führen uns zu der folgenden Vorstellung: Jedes chemische Atom besteht aus einem verhältnismäßig großen positiv elektrischen Körper, mit welchem eine Anzahl negativer Elektronen beweglich verbunden sind. Die Elektronen denken wir uns im Vergleich zu dem Atom äußerst klein, ferner nimmt man im allgemeinen an, daß der positive Hauptteil des Atoms für sie durchlässig ist, und daß sie sich im Innern des Atoms befinden. Die positive Ladung des großen Atomkörpers ist ein ganzzahliges Multiplum des Elementarquantums, und wenn das Atom ungeladen ist, so befindet sich in seinem Innern gerade die entsprechende Anzahl von Elektronen, so daß die Ladungen kompensiert sind. Durch Abspaltung von Elektronen und durch Aufnahme von überzähligen Elektronen bekommt das Atom positive und negative Ladungen.

Soviel wir sehen können, dürfen wir in den Elektronen wohl wirklich letzte Teilchen der Materie erblicken, die in sich einfach und strukturlos sind. Dagegen scheint es unmöglich zu sein, positiv geladene Elementarpartikelchen von derselben Einfachheit, rein für sich, ohne alle negativen Elektronen, aus den Atomen abzuscheiden. Positive Elektronen gibt es nicht. Daß jedenfalls alle positiven Partikelchen, die man bisher durch Abtrennung von Elektronen aus den Atomen bekommen hat, noch zusammengesetzte Teilchen sind, folgt daraus, daß sie Licht emittieren können. Auch die Kanalstrahlenteilchen senden, während sie durch den Gasraum fliegen, eine Lichtstrahlung aus, was zuerst J. Stark sicher bewiesen hat. Das wäre aber nicht möglich, wenn es einheitliche Teilchen wären. Die Elektronen für sich allein, beispielsweise in den Kathodenstrahlen, leuchten niemals. Die Erregung des Lichtes von den Atomen und Molekülen hat man sich in sehr vielen Fällen so zu denken, daß die in den Atomen vorhandenen Elektronen um ihre Gleichgewichtslagen schwingen. Indessen sind uns die Einzelheiten des Schwingungsmechanismus noch ganz verborgen. Wie wir auf S. 94 gesehen haben, folgen die Oberschwingungen der Atome den eigentümlichen Gesetzen der sog. Serien, die sich mit

gar nichts vergleichen lassen, was uns aus der Mechanik bekannt ist, und deren Erklärung bisher aller Bemühungen gespottet hat.

Die metallischen Leiter.

Die elektrische Leitung der Metalle unterscheidet sich von der der Elektrolyte wesentlich dadurch, daß in einem rein metallischen Leiterkreis an den Kontaktstellen je zweier verschiedener Leiter keine chemische Veränderung, keine „Elektrolyse" eintritt. In Leiterkreisen, die Elektrolyte enthalten, beobachtet man chemische Veränderungen nicht bloß an der Berührungsfläche von Metall und Elektrolyt, sondern auch an der zweier verschiedener Elektrolyte. Nehmen wir beispielsweise eine Lösung von Kochsalz (Chlornatrium $NaCl$) und eine Lösung von Kupfervitriol (Schwefelsaures Kupfer $CuSO_4$), trennen sie durch eine Wand von porösem Ton, welche die Diffusion der Lösungen ineinander verhindert, obwohl sie sich mit beiden Lösungen tränkt, und schicken nun einen elektrischen Strom hindurch, welcher durch die von den Lösungen durchtränkte Tonwand in dem Sinne vom Kochsalz zum Kupfervitriol geht, dann wandern Natriumionen in die Kupfervitriollösung hinein und SO_4-Jonen in die Kochsalzlösung. Die Lösungen werden also auf beiden Seiten der Grenzschicht durch den Strom chemisch verändert. Ganz dasselbe müßte eintreten, wenn wir durch eine Lötstelle beispielsweise zwischen Silber und Kupfer einen Strom schickten, vorausgesetzt, daß die Leitung in den Metallen ebenfalls durch frei bewegliche elektrische Teilchen, Jonen, besorgt wird und daß diese Jonen in verschiedenen Metallen verschieden sind. Nun ist es nicht zu verstehen, wie eine Übertragung elektrischer Ladungen anders geschehen kann, als durch Bewegung elektrisch geladener Teilchen, weil elektrische Ladungen nicht anders vorkommen können als an Materie gebunden. Tatsächlich beobachten wir aber beim Stromdurchdrang durch eine Lötstelle nicht die geringste Spur einer chemischen Veränderung der Metalle an der Lötstelle. Wir sind daher gezwungen anzunehmen, daß die Jonen in sämtlichen metallischen Leitern identisch sind. Es ist leicht einzusehen, daß dann keine Veränderungen an Grenzflächen eintreten, weil ja die Partikelchen, die nach der einen Seite wegwandern, von der andern Seite her durch ganz identische

Partikelchen ersetzt werden. Nun kennen wir eine Jonenart, die sich aus allen Stoffen abspalten läßt: die Elektronen; sie müssen die Träger der Ladungen für die Ströme in Metallen sein.

Tatsächlich hat ein Metallatom stets eine besondere Neigung, Elektronen abzuspalten. Wir sehen das, um nur ein Beispiel zu nennen, daraus, daß in wässrigen Elektrolyten die Metallatome stets positiv geladen sind. Diese Neigung der Metallatome geht nun so weit, daß auch in dem reinen Metall von den Atomen stets Elektronen abgespalten werden, die in den Zwischenräumen zwischen dem porösen aber festen Gerüst, das die großen positiv geladenen Metallatome bilden, hin und her schwärmen, etwa wie die Moleküle eines Gases in einer porösen Tonmembran. Genau so, wie das Gas durch die Tonmembran hindurch diffundieren kann, so kann auch das Elektronengas im Metall diffundieren. Stellt man nun ein elektrisches Feld im Metall her, so strömen die freien Elektronen alle nach einer Seite, wie die negativen Jonen in einem Elektrolyten. In den Metallen sind also nur die Anionen beweglich und diese sind in verschiedenen Metallen identisch.

Radioaktive Erscheinungen.

Die radioaktiven Erscheinungen sind zuerst von H. Becquerel am Uran entdeckt worden, besonders intensiv zeigt sie aber das von Frau Curie entdeckte neue Element Radium. Die eingehendsten Untersuchungen über radioaktive Vorgänge verdanken wir E. Rutherford. Dieser Forscher hat festgestellt, daß das Wesen der radioaktiven Prozesse darin besteht, daß Atome des betreffenden Elements sich unter Freiwerden gewaltiger Energiemengen durch einen explosionsartigen Vorgang in ein neues Element verwandeln, welches wir als das Zerfallsprodukt des ersten Elementes zu bezeichnen haben. Der explosionsartige Vorgang äußert sich darin, daß das Element kleine elektrisch geladene Partikelchen abschleudert, die nun, indem sie mit kolossaler Geschwindigkeit durch den Raum fliegen, materielle Strahlungen, ähnlich wie die Kathodenstrahlen und die Kanalstrahlen, bilden. Man unterscheidet hauptsächlich zwei Arten materieller Strahlen, die α-Strahlen, die aus positiv geladenen Partikelchen, und die β-Strahlen, die aus negativ geladenen Partikelchen bestehen. Die nega-

tiven Partikelchen der β-Strahlen sind nichts anderes als die Elektronen, von denen nun schon so vielfach die Rede gewesen ist, jedoch ist ihre Geschwindigkeit ganz enorm, viel größer als die der Kathodenstrahlen, sie liegt in manchen Fällen gar nicht mehr viel unter dem Wert 300000 km/sec, d. h. der Lichtgeschwindigkeit. Es ist indessen sehr bemerkenswert, daß diese Geschwindigkeit selbst niemals ganz erreicht wird; wir werden darauf noch zurückkommen. Von den α-Strahlpartikelchen hat man, nach ähnlichen Methoden wie bei den Kanalstrahlen, das Verhältnis aus Ladung und träger Masse bestimmt, und es hat sich für sie unter allen Umständen bei den verschiedensten radioaktiven Substanzen, deren man jetzt eine stattliche Reihe kennt, ein und derselbe Wert ergeben, und zwar gerade die Hälfte des Wertes wie bei Wasserstoffionen. Wären die α-Teilchen mit einem Elementarquantum geladen, so hätten sie danach das Atomgewicht 2. Nun ist aber kein Element von diesem Atomgewicht bekannt, dagegen wohl eines vom Atomgewicht 4, das Helium. Helium bildet sich in der Tat andauernd bei den radioaktiven Prozessen, und es ist Rutherford außerdem auch gelungen, direkt zu zeigen, daß die α-Teilchen aus Helium bestehen. Es sind also Heliumatome, deren jedes mit zwei positiven Elementarquanten geladen ist. Das Helium scheint danach eine besondere Stelle unter den chemischen Elementen einzunehmen, aber daß die Heliumatome keineswegs etwa einheitliche Elementarteilchen sind, sondern vielmehr noch eine sehr komplizierte Struktur haben, geht aus dem linienreichen Spektrum hervor, das man bei elektrischen Glimmentladungen in Helium beobachtet.

Zählung der α-Strahl-Teilchen.

Alle Strahlungen, die aus schnell fliegenden Partikelchen bestehen, pflegen Körper, auf die sie auftreffen, zum Leuchten zu erregen (vgl. S. 158). Die α-Strahlen zeigen dies besonders schön, wenn man sie auf Zinkblende treffen läßt. Betrachtet man nun die unter dem Einfluß einer α-Strahlung leuchtende Zinkblende, so erkennt man, daß nicht die ganze Fläche gleichmäßig leuchtet, man sieht vielmehr eine Menge einzelner Lichtpünktchen, von denen jedes kurz aufblitzt und wieder verschwindet. Der Anblick erinnert an den einer glatten Wasserfläche, auf die

ein Regen niederfällt, jeder Regentropfen erzeugt beim Auftreffen eine kleine punktförmige Narbe auf der glatten Fläche, die sofort wieder verschwindet. So sieht man auf der Zinkblende direkt die α-Teilchen niederprasseln, indem jedes Teilchen einen kurzdauernden Lichtpunkt erzeugt. Die Lichtblitze kann man während einer bestimmten Zeit zählen, man weiß dann wieviel α-Teilchen in jeder Sekunde auf eine Fläche von bekannter Größe auftreffen. Andererseits kann man messen, wie groß die positive Ladung ist, die dieselben α-Strahlen einer Fläche von derselben Größe im Verlaufe einer Sekunde erteilen. Durch Division der beiden Zahlen bekommt man dann die Ladung eines einzelnen α-Teilchens. Derartige Messungen sind von Regener und nach einer ganz ähnlichen Methode von Rutherford und Geiger ausgeführt worden. Alle Messungen haben gut übereinstimmende Resultate gegeben, aus den besten Beobachtungen berechnet sich als die Ladung eines α-Teilchen $3{,}11 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Da nun ein α-Teilchen 2 Elementarquanten trägt, so ergibt sich für das elektrische Elementarquantum: $1{,}555 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Die Messung ist von ähnlicher Genauigkeit, wie die oben angeführte Messung von Millikan (S. 154). Die Loschmidtsche Zahl ergibt sich aus ihr zu 27,8 Trillionen.

Zusammenstellung der für die Loschmidtsche Zahl ermittelten Werte.

Es sind in diesem Buch eine ganze Reihe Methoden, die meistens auf ganz verschiedenen Überlegungen beruhen, aufgeführt, um die Loschmidtsche Zahl zu finden. Eine der schönsten Methoden aber, die uns wieder in ein ganz anderes Gebiet der Physik führen würde, habe ich leider nicht einmal erwähnen können, weil zu ihrem Verständnis ein so tiefes Eindringen in die physikalischen Theorien notwendig wäre, wie es nur einem mathematisch gründlich geschulten Fachmann möglich ist. Ich meine die Berechnung der Loschmidtschen Zahl aus den von Lummer und Pringsheim und mehreren anderen Forschern experimentell ermittelten Gesetzen der Wärmestrahlung. Diese Berechnung ist auf Grund höchst interessanter theoretischer Betrachtungen von M. Planck ausgeführt worden. Der Plancksche Wert für die Loschmidtsche Zahl ist: $27{,}6 \cdot 10^{18}$. Damit

ist nun das Material, das uns vorliegt, vollständig, und in der folgenden Tabelle sind alle gefundenen Zahlen noch einmal übersichtlich zusammengestellt:

	Die Loschmidtsche Zahl
1. Aus Reibung, Wärmeleitung, Diffusion von Gasen	ca. 20 Trillionen
2. Aus der Verteilung und der Brownschen Bewegung in feinen Suspensionen . . .	31 „
3. Aus der Diffusion von Zucker in Wasser .	29,4 „
4. Aus der Intensität des Himmelslichtes .	24,7 „
5. Aus der Bestimmung des elektrischen Elementarquantums mit Jonennebeln . . .	26,5 „
6. Aus der Bestimmung des elektrischen Elementarquantums an α-Strahlenteilchen . .	27,8 „
7. Aus den Gesetzen der Wärmestrahlung . .	27,6 „

Von diesen Zahlen sind die 1. und 4. am wenigsten gesichert, weil bei der Berechnung zum Zwecke der Vereinfachung Annahmen gemacht worden sind, die sicher nicht ganz richtig sind und deren Einfluß auf das Resultat schwer abzuschätzen ist. Von der 4. Zahl 24,7 wissen wir bestimmt, daß sie etwas zu klein ist (vgl. S. 76). Die Werte, die nach exakt begründeten Methoden berechnet sind, zeigen, wenn man die Schwierigkeiten bedenkt, die sich hier einer genauen Messung entgegenstellen, im allgemeinen eine vorzügliche Übereinstimmung. Der 2. an feinen Suspensionen von Perrin gefundene Wert 31 ist allerdings etwas größer als die anderen. Über den Grund dieser Abweichung werden wohl weitere experimentelle Forschungen noch Aufschluß geben. Die drei letzten Zahlen kommen dem richtigen Wert höchstwahrscheinlich sehr nahe.

Die moderne Auffassung vom Wesen der Materie.

Die Theorie vom Aufbau der Atome, die oben auseinandergesetzt worden ist, führt bei tieferem Nachdenken zu einer ganz neuen, eigentümlichen Auffassung vom Wesen der Materie. Sie schließt nämlich die Behauptung in sich, daß überhaupt keine Materie ohne elektrische Ladung existiert. Wir können auch sagen: Materie ohne Zusammenhang mit dem Weltäther gibt es nicht. Die materiellen Teilchen wirken

aufeinander nur durch Vermittelung des Vakuums zwischen ihnen. Da nun die Wirkung von der Materie auf das Vakuum und von dem Vakuum auf die Materie nur durch elektrische Ladungen zustande kommt, so ist die elektrische Ladung das Wirksame oder das, was man in der Physik kurzweg das Wirkliche nennt. Man kann andererseits, wenn die elektrische Ladung das Wesentliche an der Materie ist, auch sagen, daß die materiellen Elementarteilchen, also die Elektronen und die positiv geladenen Raumteile, die diese im Atom umschließen, nichts weiter als singuläre Stellen des Weltäthers sind, nämlich Stellen, wo die elektrischen Spannungslinien des Äthers zusammenlaufen, kurz gesagt: Knotenstellen der elektrischen Felder im Äther.

Sehr merkwürdig ist es, daß diese Knotenstellen immer nur in enge Bereiche, nämlich die von den Elementarpartikelchen erfüllten Raumstellen zusammengedrängt vorkommen. Nach den Gesetzen der Elektrostatik sollte man erwarten, daß die Knotenstellen das Bestreben hätten, sich über möglichst große Räume auszubreiten. Es muß also das Auftreten der Knotenstellen noch mit besonderen Kraftäußerungen des Äthers verbunden sein, die dem Expansionsbestreben entgegenwirken und die Knotenstellen in ihre engen Bereiche zusammendrücken. Diese noch ganz unerforschten Kraftwirkungen des Äthers will ich als die Kohäsionsdrucke bezeichnen, ich vermute, daß mit ihnen die allgemeine Massenanziehung oder Gravitation eng zusammenhängt. Wenn nun aus irgendeiner Ursache ein Knotenstellenbereich nach einer Seite über seine Grenze hinaustritt, so sorgt der Kohäsionsdruck sofort dafür, daß er sich auf einer andern Stelle nach innen zurückzieht, in der Weise, daß das Volumen des Elementarteilchens konstant bleibt. Dann verschiebt sich also der singuläre Bereich des Äthers, d. h. das materielle Elementarteilchen, durch den Äther hindurch. Ursache für eine Bewegung des Teilchens kann immer nur sein, daß die Zustände des Äthers seiner Umgebung irgendwie nicht im Gleichgewicht sind. Es beginnt dann eine Umordnung der Kraftfelder des Äthers, womit auch Verschiebungen der Knotenstellen verbunden sein können, in dem Sinne, daß sich Gleichgewicht herzustellen sucht. Aber durch diese Umlagerungen wird niemals erreicht, daß wirklich Gleichgewicht eintritt. Selbst wenn an einer Stelle Gleichgewicht zustande kommt, so wird es dafür

wieder an einer anderen Stelle gestört, und die Folge ist, daß die Veränderungen in den Ätherfeldern und die Bewegungen der Knotenpunkte niemals aufhören; die Welt bleibt in Leben und Bewegung.

Wir haben schon früher einmal (S. 133) gesehen, daß ein elektrisch geladenes Teilchen sich nicht bewegen kann, wenn es nicht auf seiner Wanderung stets von einem magnetischen Feld begleitet ist. Wenn sich eine Ätherknotenstelle, sagen wir beispielsweise ein Elektron, in Bewegung setzt, so tritt eine Verzerrung seines elektrischen Feldes ein (S. 139), so daß das Gleichgewicht der Spannungen gestört wird, und dadurch wird nun der magnetische Zustand des Äthers in Gang gebracht. Solange die Bewegung des Elektrons beschleunigt ist, ist das Feld in seiner Umgebung infolge der Verzerrung unsymmetrisch, es ist auf der Rückseite stärker als auf der Vorderseite, infolgedessen sucht es das Elektron mit einer gewissen Kraft zurückzuhalten. Diese Kraft ist das, was man in der Mechanik die Trägheitsreaktion des Massenteilchens gegen die Beschleunigung seiner Bewegung nennt. Damit die Beschleunigung eintreten kann, muß in den Ätherzuständen noch irgendeine andere Unsymmetrie vorhanden sein, die der Unsymmetrie des eigenen elektrischen Feldes am Teilchen gerade das Gleichgewicht hält, eine bewegende Kraft, die der Trägheitsreaktion genau entgegengesetzt gleich ist. Die Energie, die der Äther in einer Weise abgibt, indem sich der nicht im Gleichgewicht befindliche Zustand, aus dem die bewegende Kraft resultiert, mehr dem Gleichgewicht zu nähern sucht, wird ihm durch die Unsymmetrie des elektrischen Feldes am Teilchen, welcher die Trägheitsreaktion entspricht, gleich wieder in anderer Form zugeführt, nämlich in der Form des magnetischen Feldes, das sich um das bewegte Teilchen herum ausbildet. Die Trägheitsreaktion der Materie ist also nach dieser Auffassung nichts anderes als die Reaktion des im Äther entstehenden magnetischen Feldes. Diese Überlegungen haben aber noch eine Lücke, denn wahrscheinlich sind auch die unbekannten Vorgänge, die mit dem Kohäsionsdruck der Knotenstelle zusammenhängen, noch irgendwie an den Trägheitswirkungen beteiligt. Es würde dann zu der Reaktion des magnetischen Feldes noch eine weitere Reaktionskraft hinzukommen, die diesen Vorgängen entspricht. Das Wesentliche der theoretischen Auf-

fassung bliebe doch dasselbe, nämlich, daß der Sitz der Trägheitswirkungen der das Elementarteilchen umgebende Äther ist.

Auch wenn das Elektron sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, ist sein elektrisches Feld ein wenig außer Gleichgewicht. Denn seine Spannungen müssen alsdann für die Mitführung des begleitenden magnetischen Feldes sorgen, sie müssen also das magnetische Feld auf der Vorderseite in Gang setzen und auf der Rückseite zum Aufhören bringen. Das Feld ist deswegen etwas verzerrt, aber doch so, daß es um das Elektron herum zentrisch symmetrisch bleibt, daß also keine Reaktionskräfte wirken und das Elektron in seiner Bewegung beharrt. Daß aber immerhin eine Feldverzerrung vorhanden ist, und zwar eine Feldverzerrung, die natürlich um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit, das führt zu einer sehr sonderbaren Konsequenz. Da nämlich das magnetische Feld seinerseits die Übertragung des elektrischen Feldes zu besorgen hat, so muß es sich immer dem verzerrten elektrischen Feld anpassen, es ändert sich also mit wachsender Geschwindigkeit nicht einfach ihr proportional, sondern es bekommt auch einen mehr und mehr von der ursprünglichen Verteilung seiner Feldlinien abweichenden Verlauf. Infolgedessen ist die Trägheitsreaktion des magnetischen Feldes für einen gewissen Zuwachs der Geschwindigkeit eine andere, wenn das Elementarteilchen schon in einer sehr schnellen Bewegung begriffen ist, als wenn es erst beginnt, sich zu bewegen. *Die träge Masse der Elementarpartikelchen der Materie ändert sich mit der Geschwindigkeit.*

Diese Folgerung aus der neuen Auffassung vom Wesen der Materie, die der alten Anschauungsweise der Mechanik aufs schärfste widerspricht, nach welcher gerade die träge Masse eines Körpers als absolut konstant galt, ist tatsächlich schon mehrmals einer experimentellen Prüfung unterzogen worden. Die theoretische Untersuchung ergibt, daß die träge Masse infolge der Feldverzerrung mehr und mehr zunimmt und schließlich bis ins Unendliche gesteigert wird, wenn die Geschwindigkeit dem Wert der Lichtgeschwindigkeit 300 000 km/sec nahe kommt. Infolgedessen kann die Materie niemals die Geschwindigkeit 300 000 km/sec vollkommen erreichen. In der Tat bleibt die Geschwindigkeit der β-Strahlteilchen, wie groß sie auch werden mag, doch immer noch etwas unter der Lichtgeschwindigkeit

(S. 167). W. Kaufmann hat als erster die Messungsmethoden, die an den Kathodenstrahlteilchen erprobt sind, auf die Teilchen der schnellen β-Strahlen angewandt, und durch sehr sorgfältige Messungen gefunden, daß wirklich mit zunehmender Geschwindigkeit die Trägheit der Elektronen gesetzmäßig anwächst. Bei der höchsten Geschwindigkeit, die in den β-Strahlen vorkam, und die nur noch wenige Prozent unter der Lichtgeschwindigkeit war, betrug die Trägheit der Elektronen schon ungefähr dreimal so viel, als in den Kathodenstrahlen, deren Geschwindigkeit man gegen Lichtgeschwindigkeit als unendlich klein ansehen kann. Die Kaufmannschen Messungen sind später von anderen Experimentatoren nach anderen Methoden bestätigt gefunden worden, bis auf kleine Abweichungen, über deren Ursache wohl weitere Experimente Aufschluß geben werden. Innerhalb dieser Abweichungen stimmen die Messungen mit den Resultaten überein, die eine Berechnung der magnetischen Reaktionskräfte auf rein theoretischem Wege ergibt.

Man hat infolgedessen aus den Kaufmannschen Messungen vielfach den Schluß ziehen wollen, daß die Trägheit der Elektronen ganz allein aus der Reaktion des magnetischen Feldes zu erklären sei. Indessen ist dieser Schluß doch wohl ungerechtfertigt. Denn es ist uns noch völlig unbekannt, in welcher Weise sich Trägheitswirkungen, die mit den Kohäsionsdrucken des Äthers zusammenhängen, ändern würden, wenn die Geschwindigkeit sehr stark anwächst. Man hat sehr gewichtige Gründe für die Annahme, daß diese Trägheitswirkungen sich nach genau denselben Gesetzen ändern, wie die Trägheitswirkung des magnetischen Feldes, so daß es unmöglich wäre, die beiden Summanden der Trägheit experimentell voneinander zu unterscheiden.

Es muß hervorgehoben werden, daß sich die Experimente bisher auf schnell bewegte Elektronen beschränkt haben. Man hat noch keine chemischen Atome mit derartig großen Geschwindigkeiten gefunden, daß man an ihnen eine merkbare Änderung der trägen Masse erwarten dürfte. Es fehlt also noch der allgemeine Beweis für die Richtigkeit der aus der neuen Anschauung gezogenen Folgerung über die träge Masse. Aber die Gründe, die für die neue Auffassung an sich sprechen, sind sonst so zahlreich und schwerwiegend, daß man sie unbedingt den weiteren Forschungen in der Wissenschaft zugrunde legen

muß. Man darf wohl hoffen, daß die Physik auf diese Weise dazu gelangen wird, ein Weltbild von ganz wunderbar schöner Einfachheit und Klarheit zu konstruieren. All die Mannigfaltigkeit der Sinnenwelt, die auf den ersten Blick so bunt und verworren aussieht, scheint zurückzugehen auf Vorgänge in einer durchaus einheitlichen Weltsubstanz, dem Äther, und zwar auf Vorgänge, die trotz ihrer enormen Kompliziertheit doch durch ein harmonisches System von wenigen, einfachen, mathematisch klaren Gesetzen geregelt sind.

Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Jeder Band geh. M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25.

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

Allgemeines Bildungswesen. Erziehung u. Unterricht.

Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 2. Auflage. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. W. Münch und einem Bildnis Paulsens. (Bd. 100.)
Eine unparteiische Darstellung der Entwicklungsgeschichte des deutschen Bildungswesens nach seinen Hauptrichtlinien, zugleich ein Spiegelbild deutscher Kulturentwicklung.

Der Leipziger Student von 1409—1909. Von Dr. Wilhelm Bruchmüller. Mit 25 Abbildungen. (Bd. 273.)
Eine zusammenfassende Kultur- und Sittengeschichte des Leipziger Studenten.

Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. Karl Knabe. (Bd. 85.)
Eine übersichtliche Darstellung der Entwicklungsgeschichte des deutschen Schulwesens von seinen Anfängen an bis zum nationalen Humanismus der Gegenwart.

Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart. Von Oberrealschuldirektor Dr. Karl Knabe. (Bd. 299.)
Bietet einen anregenden Überblick über das Gesamtgebiet des gegenwärtigen deutschen Unterrichtswesens.

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)
Behandelt das mit der großen sozialen Frage unserer Zeit in so engem Zusammenhang stehende Problem der Volkserziehung in praktischer, selbständiger Weise und in sittlich-sozialem Geiste.

Experimentelle Pädagogik mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. Mit 2 Abbildungen. (Bd. 224.)
Behandelt Geschichte, Aufgaben, Wesen und Bedeutung der experimentellen Pädagogik und ihrer Forschungsmethode.

Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. Rob. Gaupp. 2., verbesserte Auflage. Mit 18 Abbildungen. (Bd. 213.)
Behandelt auf Grund der modernen wissenschaftlichen Forschungsmethoden und -Resultate die interessantesten und praktisch wichtigsten Kapitel der Kinderpsychologie unter Betonung der Bedeutung des psychologischen Versuchs für die Erkenntnis der Eigenart geistiger Tätigkeit wie der individuellen Verschiedenheiten im Kindesalter.

Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von Johannes Tews. 2. Auflage. (Bd. 159.)
Die Erziehung als Grundproblem der modernen Kultur und kulturelle Pflicht jedes einzelnen.

Großstadtpädagogik. Von Johannes Tews. (Bd. 327.)
Hat die Probleme, die es für den Erzieher in Haus und Schule in der Großstadt zu lösen gilt, und die Maßnahmen, die hier getroffen werden müssen, wenn Hunderttausende von jungen Deutschen zu vollwertigen Bürgern des Reiches erzogen werden sollen, klar und fesselnd dargestellt.

Schulkämpfe der Gegenwart. Von Johannes Tews. 2. Aufl. (Bd. 111.)

Stellt die Probleme dar, um die es sich bei der Reorganisation der Volksschulen handelt, deren Stellung zu Staat und Kirche, Abhängigkeit vom Zeitgeist und Wichtigkeit für die Herausgestaltung einer volksfreundlichen Gesamtkultur scharf beleuchtet werden.

Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin Marie Martin. (Bd. 65.)

Bietet aus berufenster Feder eine Darstellung der Ziele, der historischen Entwicklung, der heutigen Gestalt und der Zukunftsaufgaben der höheren Mädchenschulen.

Vom Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)

Gibt in kurzen Zügen eine Theorie und Praxis der Hilfsschulpädagogik nach ihrem gegenwärtigen Stand und zugleich Richtlinien für ihre künftige Entwicklung.

Das deutsche Fortbildungsschulwesen. Von Direktor Dr. Friedrich Schilling. (Bd. 256.)

Würdigt die gegenwärtige Ausgestaltung des gesamten (einschließlich des gewerblichen und kaufmännischen) Fortbildungsschulwesens und zeichnet Richtlinien für einen konsequenten Weiterbau.

Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abbildungen und 1 Titelbild. (Bd. 140.)

Gibt einen Überblick über die Geschichte des Knabenhandarbeitsunterrichts, untersucht seine Stellung im Lichte der modernen pädagogischen Strömungen sowie seinen Wert als Erziehungsmittel und erörtert sodann die Art des Betriebes in den verschiedenen Schulen und Ländern.

Das moderne Volksbildungswesen. Bücher- und Lesehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. Gottlieb Fritz. Mit 14 Abbildungen. (Bd. 266.)

Gibt einen zusammenfassenden Überblick über das für den Aufschwung des geistigen Lebens der modernen Kulturvölker so wichtige Volksbildungswesen.

Die amerikanische Universität. Von Ph. D. Edward Delavan Perry. Mit 22 Abbildungen. (Bd. 206.)

Schildert die Entwicklung des gelehrten Unterrichts in Nordamerika, belehrt über das dortige innere und äußere akademische Leben und bietet interessante Vergleiche zwischen deutschem und amerikanischem Hochschulwesen.

Technische Hochschulen in Nordamerika. Von Prof. Siegmund Müller. Mit zahlreichen Abbildungen, Karte und Lageplan. (Bd. 190.)

Schildert, von lehrreichen Abbildungen unterstützt, die Einrichtungen und den Unterrichtsbetrieb der amerikanischen technischen Hochschulen in ihrer Eigenart.

Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten in ihren hervortretenden Zügen. Von Direktor Dr. Franz Kuypers. Mit 48 Abbildungen und 1 Titelbild. (Bd. 150.)

Schildert anschaulich das amerikanische Schulwesen vom Kindergarten bis zur Hochschule, überall das Wesentliche der amerikanischen Erziehungsweise (die stete Erziehung zum Leben, das Wecken des Betätigungstriebes, das Hindrängen auf praktische Verwertung usw.) hervorhebend.

Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor Karl Möller. In 2 Bänden. (Bd. 188/189.)

Band I: Von Schiller bis Lange. (Bd. 188.) Band II: In Vorbereitung.

Eine feinsinnige Auslese von Aussprüchen und Aufsätzen unserer führenden Geister über eine allseitig harmonische Ausbildung von Leib und Seele.

Schulhygiene. Von Prof. Dr. Leo Burgerstein. 2. Auflage. Mit 33 Figuren. (Bd. 96.)

Ein alle in Betracht kommenden Fragen gleichmäßig berücksichtigendes Gesamtbild der modernen Schulhygiene.

Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. Johannes Petersen. 2 Bände. (Bd. 161. 162.)

Band I: Die öffentliche Fürsorge für die hilfsbedürftige Jugend. (Bd. 161.)

Band II: Die öffentliche Fürsorge für die sittlich gefährdete und die gewerblich tätige Jugend. (Bd. 162.)

Behandelt das gesamte öffentliche Fürsorgewesen, dessen Vorzüge und Mängel sowie die Möglichkeit der Reform.

Pestalozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. Paul Natorp. Mit einem Bildnis und einem Brieffaksimile. (Bd. 250.)

Sucht durch systematische Darstellung der Prinzipien Pestalozzis und ihrer Durchführung eine von seiner zeitlichen Bedingtheit losgelöste Würdigung des Pädagogen anzubahnen.

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. Mit einem Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)

Sucht durch liebevolle Darstellung von Herbarts Werden und Lehre seine durch eigenartige Terminologie und Deduktionsweise schwer verständliche Philosophie und Pädagogik weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von Adele von Portugall. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

Lehrt die grundlegenden Gedanken der Methode Fröbels kennen und gibt einen Überblick seiner wichtigsten Schriften mit Betonung aller jener Kernaussprüche, die treuen und oft ratlosen Müttern als Wegweiser in Ausübung ihres hehrsten und heiligsten Berufes dienen können.

Hierzu siehe ferner:

Hensel, Rousseau S. 6.

Religionswissenschaft.

Leben und Lehre des Buddha. Von weil. Prof. Dr. Richard Pischel. 2. Auflage von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)

Gibt eine allgemeinverständliche, wissenschaftliche Darstellung des Buddhismus in religiöser, ethischer, philosophischer und sozialer Hinsicht, seiner Geschichte und seines Verhältnisses zum Christentum.

Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. Julius v. Negelein. (Bd. 95.)

Gibt ein Bild germanischen Glaubenslebens, indem es die Äußerungen religiösen Lebens, namentlich auch im Kultus und in den Gebräuchen des Aberglaubens aufsucht und sich überall bestrebt, das ihnen zugrunde liegende psychologische Motiv aufzudecken.

Mystik im Heidentum und Christentum. Von Dr. Edvin Lehmann. (Bd. 217.)

Verfolgt die Erscheinungen der Mystik von der niedrigsten Stufe durch die orientalischen Religionen bis zu den mystischen Phänomenen in den christlichen Kirchen aller Zeiten.

Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. Hermann Freiherr von Soden. 3. Auflage. Mit 2 Karten, 1 Plan von Jerusalem und 6 Ansichten des Heiligen Landes. (Bd. 6.)

Ein Bild, nicht nur des Landes selbst, sondern auch alles dessen, was aus ihm hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrhunderte, in deren Verlauf die Patriarchen Israels und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Assyrer und die Scharen Mohammeds einander ablösten.

Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. Nach den neuesten Ausgrabungen und Forschungen. Von Gymnasialoberlehrer Dr. Peter Thomsen. Mit 36 Abbildungen. (Bd. 260.)
Will, indem es die wichtigsten bis in das 4. Jahrtausend vor Christi zurückreichenden Ergebnisse der neuesten Ausgrabungen in Palästina zum ersten Male gemeinverständlich darstellt, zugleich ein Führer sein zu neuem und tieferem Eindringen in die geschichtlichen Grundlagen unserer Religion.

Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Prof. Dr. Friedrich Giesebrecht. 2. Auflage. (Bd. 52.)
Schildert, wie Israels Religion entsteht, wie sie die nationale Schale sprengt, um in den Propheten die Ansätze einer Menschheitsreligion auszubilden, und wie auch diese neue Religion sich verpuppt in die Formen eines Priesterstaats.

Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. Heinrich Weinel. 3., verbesserte Auflage. (Bd. 46.)
Die beste Antwort auf die Frage „Hat Jesus gelebt?" als Anleitung zum historisch-kritischen Verständnis seiner Gleichnisse.

Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. Paul Mehlhorn. (Bd. 137.)
Will zeigen, was von dem im Neuen Testament uns überlieferten Leben Jesu als geschichtlich beglaubigter Tatbestand festzuhalten und was als Sage oder Dichtung zu betrachten ist.

Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor Carl Bonhoff. (Bd. 89.)
Sucht der ganzen Fülle und Eigenart der Persönlichkeit Jesu gerecht zu werden, indem es ihn in seinem Verkehr mit den ihn umgebenden Menschengestalten, Volks- und Parteigruppen zu verstehen sucht.

Der Text des Neuen Testamentes nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer August Pott. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)
Will die Frage: „Ist der ursprüngliche Text des Neuen Testamentes überhaupt noch herzustellen?" durch eine Darstellung seiner Entwicklung von der ersten schriftlichen Fixierung bis zum heutigen „berichtigten" Text beantworten.

Der Apostel Paulus und sein Werk. Von Prof. Dr. Eberhard Vischer. (Bd. 309.)
Zeigt durch eingehende Darstellung von Leben und Lehre die Persönlichkeit des Apostels in ihrer zeitlichen Bedingtheit und in ihrer bleibenden weltgeschichtlichen Bedeutung.

Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. Dr. K. Sell. 2 Bände.
Band I: Die Entstehung des Christentums und seine Entwicklung als Kirche. (Bd. 297.)
Band II: Das Christentum in seiner Entwicklung über die Kirche hinaus. (Bd. 298.)
Zeigt durch eingehende Charakterisierung der schöpferischen Persönlichkeiten die Wechselbeziehungen zwischen Kulturentwicklung und Christentum auf.

Aus der Werdezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. Johannes Geffcken. 2. Auflage. (Bd. 54.)
Ein Bild der vielseitigen, kultur- und religionsgeschichtlichen Bedingtheiten, unter denen die Werdezeit des Christentums steht.

Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. Heinrich Boehmer. 2. Auflage. Mit 2 Bildnissen Luthers. (Bd. 113.)
Gibt auf kulturgeschichtlichem Hintergrunde eine unparteiische, Schwächen und Stärken gleichmäßig beleuchtende Darstellung von Luthers Leben und Wirken.

Johann Calvin. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)
Sucht durch eingehende Darstellung des Lebens und Wirkens sowie der Persönlichkeit des Genfer Reformators, sowie der Wirkungen, welche von ihm ausgingen, Verständnis für seine Größe und bleibende Bedeutung zu wecken.

Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. Heinrich Boehmer. 2. vermehrte Auflage. (Bd. 49.)
Ein Büchlein nicht für oder gegen, sondern über die Jesuiten, also der Versuch einer gerechten Würdigung des vielgenannten Ordens nach seiner bleibenden geschichtlichen Bedeutung.

Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. August Heinrich Braasch. 2. Auflage. (Bd. 66.)
Will durch eine großzügige historische Übersicht über das an Richtungen und Problemen so reiche religiöse Leben der Gegenwart den innerlichsten und höchsten Lebenswerten gegenüber einen eigenen Standpunkt finden helfen.

Die Stellung der Religion im Geistesleben. Von Lic. Dr. Paul Kalweit. (Bd. 225.)
Will das Verhältnis der Religion zu dem übrigen Geistesleben, insbesondere zu Wissenschaft, Sittlichkeit und Kunst klarlegen, indem es die bedeutsamsten Anschauungen darüber erörtert.

Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. August Pfannkuche. (Bd. 141.)
Will durch geschichtliche Darstellung der Beziehungen beider Gebiete eine vorurteilsfreie Beurteilung des heiß umstrittenen Problems ermöglichen.

Philosophie und Psychologie.

Einführung in die Philosophie. Von Professor Dr. R. Richter. 2. Auflage. (Bd. 155.)
Bietet eine anschauliche, zugleich wissenschaftlich-gründliche Darstellung der philosophischen Hauptprobleme und der Richtungen ihrer Lösung, insbesondere des Erkenntnisproblems, und nimmt dabei, nach einer vorherigen Abgrenzung des Gebietes der Philosophie und Bestimmung ihrer Aufgabe, zu den Standpunkten des Materialismus, Spiritualismus, Theismus und Pantheismus Stellung, um zum Schlusse die Fragen der Moral- und Religionsphilosophie zu beleuchten.

Die Philosophie. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realschuldirektor Hans Richert. (Bd. 186.)
Will die Stellung der Philosophie im Geistesleben der Gegenwart beleuchten, ihren Wert als Weltanschauung sicher stellen, ihre Grundprobleme und deren Lösungsversuche charakterisieren und in die philosophische Literatur einführen.

Führende Denker. Geschichtliche Einleitung in die Philosophie. Von Prof. Dr. Jonas Cohn. Mit 6 Bildnissen. (Bd. 176.)
Will durch Geschichte in die Philosophie einführen, indem es von sechs großen Denkern, Sokrates und Platon, Descartes und Spinoza, Kant und Fichte das für die Philosophie dauernd Bedeutende herauszuarbeiten sucht aus der Überzeugung, daß aus der Kenntnis der Persönlichkeiten am besten das Verständnis für ihre Gedanken zu gewinnen ist.

Griechische Weltanschauung. Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)
Eine einheitlich zusammenfassende Übersicht über das Vorbildliche und allgemein Wertvolle in der Entwicklungsgeschichte der griechischen Weltanschauung.

Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr. Ludwig Busse. 4. Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)
Eine sich auf die Darstellung der großen klassischen Systeme beschränkende, aber deren beherrschende und charakteristische Grundgedanken herausarbeitende und so ein klares Gesamtbild der in ihm enthaltenen Weltanschauungen entwerfende Einführung in die neuere Philosophie.

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr. Oswald Külpe. 5. Auflage. (Bd. 41.)
Schildert die vier Hauptrichtungen der modernen deutschen Philosophie: den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus unter eingehender Würdigung der bedeutendsten Vertreter der verschiedenen Richtungen.

Rousseau. Von Prof. Dr. Paul Hensel. Mit 1 Bildnisse. (Bd. 180.)
Stellt Rousseau als Vorläufer des deutschen Idealismus, seine Lebensarbeit als unumgängliche Voraussetzung für Goethe, Schiller, Herder, Kant, Fichte dar.

Immanuel Kant. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. Oswald Külpe. 2. Auflage. Mit einem Bildnisse Kants. (Bd. 146.)
Eine Einführung in das Verständnis Kants und eine Würdigung seiner Philosophie in ihrer unvergleichlichen und schier unerschöpflichen Kraft der Anregung, wie seiner Persönlichkeit in ihrer echten in sich geschlossenen Eigenart.

Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Sechs Vorträge von Realschuldirektor Hans Richert. 2. Auflage. Mit dem Bildnis Schopenhauers. (Bd. 81.)
Gibt, in das Werden dieses großen deutschen Philosophen und Schriftstellers mit seinen geschichtlichen Bedingungen und Nachwirkungen einführend, einen zusammenfassenden Überblick über das Ganze seines Systems.

Herbert Spencer. Von Dr. Karl Schwarze. Mit 1 Bildnisse. (Bd. 245.)
Gibt eine klar gefaßte Darstellung des Lebens und des auf dem Entwicklungsgedanken aufgebauten Systems Herbert Spencers nach seinen verschiedenen Seiten, nämlich philosophische Grundlegung, Biologie, Psychologie, Soziologie und Ethik.

Das Weltproblem von positivistischem Standpunkte aus. Von Prof. Dr. Josef Petzoldt. (Bd. 133.)
Sucht die Geschichte des Nachdenkens über die Welt als eine sinnvolle Geschichte von Irrtümern psychologisch verständlich zu machen im Dienste der von Schuppe, Mach und Avenarius vertretenen Anschauung, daß es keine Welt an sich, sondern nur eine Welt für uns gibt.

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold. 3. Auflage. (Bd. 12.)
Stellt sich in den Dienst einer nationalen Erziehung, indem es zuversichtlich und besonnen eine von konfessionellen Schranken unabhängige, wissenschaftlich haltbare Lebensanschauung und Lebensordnung begründet und entwickelt.

Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart. Von Prof. Dr. Otto Kirn. (Bd. 177.)
Übt verständnisvolle Kritik an den Lebensanschauungen des Naturalismus, des Utilitarismus, des Evolutionismus, an der ästhetischen Lebensauffassung, um dann für das überlegene Recht des sittlichen Idealismus einzutreten, indem es dessen folgerichtige Durchführung in der christlichen Weltanschauung aufweist.

Die Mechanik des Geisteslebens. Von Prof. Dr. Max Verworn. 2. Auflage. Mit 18 Figuren. (Bd. 200.)
Schildert vom monistischen Standpunkt aus die modernen Anschauungen über die physiologischen Grundlagen der Gehirnvorgänge.

Die Seele des Menschen. Von Prof. Dr. Joh. Rehmke. 3. Aufl. (Bd. 36.)
Gibt allgemeinverständlich eine eingehende wissenschaftliche Antwort auf die Grundfrage: „Was ist die Seele?"

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. Ernst Trömner. (Bd. 199.)
Bietet eine rein sachliche Darstellung der Lehre von Hypnotismus und Suggestion und zeigt deren Einfluß auf die wichtigsten Kulturgebiete.

Hierzu siehe ferner:

Hamann, Die Ästhetik S. 8. **Lehmann**, Mystik in Heidentum und Christentum S. 3. **Pischel**, Leben und Lehre des Buddha S. 3. **Flügel**, Herbarts Lehre und Leben S. 3. **Pfannkuche**, Naturwissenschaft und Religion in Kampf und Frieden S. 5. **Volbehr**, Bau und Leben der bildenden Kunst S. 8. **Muckle**, Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrhundert S. 15.

Literatur und Sprache.

Die Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. Franz Nikolaus Finck. (Bd. 267.)
Gibt einen auf den Resultaten moderner Sprachforschung aufgebauten, umfassenden Überblick über die Sprachstämme des Erdkreises, ihre Verzweigungen in Einzelsprachen sowie über deren gegenseitige Zusammenhänge.

Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. Franz Nikolaus Finck. (Bd. 268.)
Will durch Erklärung je eines charakteristischen Textes aus acht Hauptsprachtypen einen unmittelbaren Einblick in die Gesetze der menschlichen Sprachbildung geben.

Entstehung und Entwicklung unserer Muttersprache. Von Prof. Dr. Wilhelm Uhl. Mit vielen Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 84.)
Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der sprachlich-wissenschaftlich lautphysiologischen wie der philologisch-germanistischen Forschung, die Ursprung und Organ, Bau und Bildung, andererseits die Hauptperioden der Entwicklung unserer Muttersprache zur Darstellung bringt.

Rhetorik. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. Ewald Geißler. (Bd. 310.)
Eine zeitgemäße Rhetorik für den Berufsredner wie für jeden nach sprachlicher Ausdrucksfähigkeit Strebenden.

Die deutschen Personennamen. Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)
Gibt einen vollständigen historischen Überblick über das gesamte Gebiet der deutschen Vor- und Familiennamen und erklärt ihre Entstehung und Bedeutung nach ihren verschiedenen Gattungen.

Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Dr. J. W. Bruinier. 4. Auflage. (Bd. 7.)
Handelt in schwungvoller Darstellung vom Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges, unterrichtet über die deutsche Volksliederpflege in der Gegenwart, über Wesen und Ursprung des deutschen Volksgesanges, Skop und Spielmann, Geschichte und Mär, Leben und Liebe.

Die deutsche Volkssage. Übersichtlich dargestellt. Von Dr. Otto Böckel. (Bd. 262.)
Bietet zum erstenmal eine vollständige Übersicht über die reichen Schätze der deutschen Volkssage, als des tiefverschütteten Grundes deutscher Anschauungs- und Denkweise.

Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Christian Gaehde. Mit 20 Abbild. (Bd. 230.)
Eine Geschichte des Theaters vom griechischen Altertum durch Mittelalter und Renaissance bis auf die Schauspielkunst der Gegenwart, deren verschiedene Strömungen in ihren historischen und psychologischen Bedingungen dargestellt werden.

Das Drama. Band I. Von der Antike zum französischen Klassizismus. Von Dr. Bruno Busse. Mit 3 Abbildungen. (Bd. 287.)
Verfolgt die Entwicklung des Dramas von den primitiven Anfängen über Altertum, Mittelalter und Renaissance bis zum französischen Klassizismus.

Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. Heinrich Spiero. (Bd. 254.)
Schildert unter liebevoller Würdigung der größten und feinsten Meister des Liedes an der Hand wohlgewählter Proben die Entwicklungsgeschichte der deutschen Lyrik.

Schiller. Von Prof. Dr. Theobald Ziegler. Mit dem Bildnis Schillers von Kügelgen in Heliogravüre. 2. Auflage. (Bd. 74.)
Will durch eingehende Analyse der Einzelwerke in das Verständnis von Schillers Leben und Gedankenwelt einführen.

Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. Georg Witkowski. 3. Auflage. Mit einem Bildnis Hebbels. (Bd. 51.)

Sucht in erster Linie auf historischem Wege das Verständnis des Dramas der Gegenwart anzubahnen und berücksichtigt die drei Faktoren, deren jeweilige Beschaffenheit die Gestaltung des Dramas bedingt: Kunstanschauung, Schauspielkunst und Publikum.

Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. Oskar F. Walzel. (Bd. 232.)

Gibt auf Grund der modernen Forschungen ein knappes, lebendiges Bild jener Epoche, deren Wichtigkeit für unser Bewußtsein ständig wächst, und die an Reichtum der Gefühle, Gedanken und Erlebnisse von keiner anderen übertroffen wird.

Friedrich Hebbel. Von Dr. Anna Schapire-Neurath. Mit einem Bildnisse Hebbels. (Bd. 238.)

Gibt eine eindringende Analyse des Werkes und der Weltanschauung des großen deutschen Tragikers.

Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit einem Bildnisse Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)

Sucht durch eindringende Analyse des Einzelwerkes in die Gedankenwelt Gerhart Hauptmanns einzuführen.

Henrik Ibsen, Björnstjerne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildnissen. (Bd. 193.)

Sucht Entwicklung und Schaffen Ibsens und Björnsons sowie der bedeutendsten jungen norwegischen Dichter auf Grund der Veranlagung und Entwicklung des norwegischen Volkes verständlich zu machen und im Zusammenhang mit den kulturellen Strömungen der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts darzustellen.

Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. Ernst Sieper. Mit 3 Tafeln und 3 Textbildern. (Bd. 185.)

Schildert Shakespeare und seine Zeit, seine Vorgänger und eigenartige Bühne, seine Persönlichkeit und seine Entwicklung als Mensch und Künstler und erörtert die vielumstrittene Shakespeare-Bacon-Frage.

Hierzu siehe ferner:

Gerber, Die menschliche Stimme S. 20. **Das Buchgewerbe und die Kultur** S. 12.

Bildende Kunst und Musik.

Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Direktor Dr. Theodor Volbehr. Mit 44 Abbildungen. (Bd. 68.)

Führt von einem neuen Standpunkte aus in das Verständnis des Wesens der bildenden Kunst ein, erörtert die Grundlagen der menschlichen Gestaltungskraft und zeigt, wie das künstlerische Interesse sich allmählich weitere und immer weitere Stoffgebiete erobert.

Die Ästhetik. Von Dr. Richard Hamann. (Bd. 345.)

Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. Ernst Cohn-Wiener. 2 Bände. (Bd. 317/318.)

Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abbildungen. (Bd. 317.)
Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abbildungen. (Bd. 318.)

Die erste Darstellung der Entwicklungsgeschichte der Stile von der ältesten ägyptischen Kunst bis zum modernen Impressionismus unter modernen kulturpsychologischen Gesichtspunkten.

Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Reliefsarkophage. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Tafeln und 32 Abbildungen. (Bd. 272.)

Gibt an der Hand der Entwicklung des griechischen Sarkophags eine Entwicklungsgeschichte der gesamten griechischen Plastik in ihrem Zusammenhang mit Kultur und Religion.

Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. Adelbert Matthaei. 2. Auflage. Mit 29 Abbildungen. (Bd. 8.)

Will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst des Mittelalters über das Wesen der Baukunst aufklären, indem es zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern.

Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. Adelbert Matthaei. Mit 62 Abbildungen und 3 Tafeln. (Bd. 326.)

Eine Einführung in das Verständnis der Architekturentwicklung in Deutschland von der Gotik bis zum Barock.

Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. Rudolf Kautzsch. Mit 35 Abbildungen. (Bd. 44.)

Behandelt ein besonders wichtiges und lehrreiches Gebiet der Kunst und leistet zugleich, indem es an der Hand der Geschichte das Charakteristische der Illustration als Kunst zu erforschen sucht, ein gut Teil „Kunsterziehung".

Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr. Berthold Haendcke. Mit 63 Abbildungen. (Bd. 198.)

Zeigt an der Hand zahlreicher Abbildungen, wie die angewandte Kunst im Laufe der Jahrhunderte das deutsche Heim in Burg, Schloß und Haus behaglich gemacht und geschmückt hat, wie die Gebrauchs- und Luxusgegenstände des täglichen Lebens entstanden sind und sich gewandelt haben.

Albrecht Dürer. Von Dr. Rudolf Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)

Eine schlichte und knappe Erzählung des gewaltigen menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Albrecht Dürers, verbunden mit einer eingehenden Analyse seiner vorzüglichsten Werke.

Rembrandt. Von Prof. Dr. Paul Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)

Eine durch zahlreiche Abbildungen unterstützte lebensvolle Darstellung des menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Rembrandts.

Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. Richard Graul. Mit 49 Abbildungen. (Bd. 87.)

Bringt unter Mitteilung eines reichen Bildermaterials die mehr als einmal für die Entwicklung der Kunst bedeutsame Einwirkung der japanischen und chinesischen Kunst auf die europäische zur Darstellung.

Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Auflage. Mit 29 Abbildungen. (Bd. 77.)

Zeigt, daß gesunde Kunstpflege zu wahrem Menschentum gehört, und wie es jedermann in seinen Verhältnissen möglich ist, sie zu verwirklichen.

Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baumeister Chr. Ranck. Mit 41 Abbildungen. (Bd. 274.)

Eine Geschichte des Gartens als Kunstwerk, vom Altertum bis zu den modernen Bestrebungen.

Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. Heinrich Rietsch. (Bd. 178.)

Ein anschauliches Entwicklungsbild der musikalischen Erscheinungen, des Stoffes der Tonkunst, wie seiner Bearbeitung und der Musik als Tonsprache.

Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. Carl R. Hennig. (Bd. 119.)

Untersucht das Wesen des Tones als eines Kunstmaterials, prüft die Natur der musikalischen Darstellungsmittel und erörtert die Objekte der Darstellung, indem sie klarlegt, welche Ideen im musikalischen Kunstwerke gemäß der Natur des Tonmaterials und der Darstellungsmittel zur Darstellung gebracht werden können.

Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)
Will an Hand einer Darstellung ihrer Entwicklung das Verständnis vom Bau, Wesen und musikalischer Wirkung der drei Tasteninstrumente Klavier, Orgel, Harmonium vermitteln.

Geschichte der Musik. Von Dr. Friedrich Spiro. (Bd. 143.)
Gibt in großen Zügen eine übersichtliche, äußerst lebendig gehaltene Darstellung von der Entwicklung der Musik vom Altertum bis zur Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der führenden Persönlichkeiten und der großen Strömungen.

Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. Carl Krebs. Mit vier Bildnissen auf Tafeln. (Bd. 92.)
Eine Darstellung des Entwicklungsganges und der Bedeutung eines jeden der drei großen Komponisten für die Musikgeschichte. Sie gibt mit wenigen, aber scharfen Strichen ein Bild der menschlichen Persönlichkeit und des künstlerischen Wesens der drei Heroen mit Hervorhebung dessen, was ein jeder aus seiner Zeit geschöpft und was er aus Eignem hinzugebracht hat.

Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. Edgar Istel. Mit einer Silhouette von E. T. A. Hoffmann. (Bd. 239.)
Gibt eine erstmalige Gesamtdarstellung der Epoche Schuberts und Schumanns, der an Persönlichkeiten, Schöpfungen und Anregungen reichsten der deutschen Musikgeschichte.

Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. Edgar Istel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)
Führt durch eingehende Schilderung des Entwicklungsganges Richard Wagners zu einem wirklichen Verständnis seiner Werke.

Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fritz Volbach. Mit Partiturbeispielen und 2 Instrumententabellen. (Bd. 308.)
Gibt zum ersten Male einen Überblick über die Entwicklungsgeschichte der Orchestrierung vom Altertum bis auf Richard Strauß.

Geschichte und Kulturgeschichte.

Die Anfänge der menschlichen Kultur. Von Prof. Dr. Ludwig Stein. (Bd. 93.)
Behandelt als Einführung in die Kulturprobleme der Gegenwart den vorgeschichtlichen Menschen, die Anfänge der Arbeitsteilung, die Anfänge der Rassenbildung sowie der wirtschaftlichen, intellektuellen, moralischen und sozialen Kultur.

Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. Erich Ziebarth. Mit 22 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. (Bd. 131.)
Sucht auf Grund der Ausgrabungen und der inschriftlichen Denkmäler ein anschauliches Bild von dem Aussehen einer altgriechischen Stadt und von dem städtischen Leben in ihr zu entwerfen.

Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Friedrich v. Duhn. 2. Auflage. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 114.)
Schildert auf Grund der neuesten Ausgrabungs- und Forschungsergebnisse Pompeji als Beispiel für die Entwicklung der nach Italien übertragenen griechischen Kultur und Kunst zur Weltkultur und Weltkunst.

Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdozent Dr. Leo Bloch. 2. Auflage. (Bd. 22.)
Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist.

Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdozent Dr. Karl Dieterich. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 244.)
Bietet durch Charakterisierung markanter Persönlichkeiten einen Einblick in das wirkliche Wesen des gemeinhin so wenig bekannten und doch so wichtigen mittelalterlichen Byzanz.

Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. Georg Steinhausen. 2. Auflage. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 75.)
Beruht auf eingehender Quellenforschung und gibt in fesselnder Darstellung einen Überblick über germanisches Leben von der Urzeit bis zur Berührung der Germanen mit der römischen Kultur.

Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. V. Vedel. 2 Bände.
Band I: Heldenleben. (Bd. 292.)
Band II: Ritterromantik. (Bd. 293.)
Zeichnet auf Grund besonders der griechischen, germanischen, persischen und nordischen Heldendichtung ein Bild des heroischen Kriegerideals, um so Verständnis für die bleibende Bedeutung dieses Ideals für die Ausbildung der Kultur der Menschheit zu wecken.

Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. Eduard Otto. 2. Auflage. Mit 27 Abbildungen. (Bd. 45.)
Gibt ein Bild des deutschen Frauenlebens von der Urzeit bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, von Denken und Fühlen, Stellung und Wirksamkeit der deutschen Frau, wie sie sich im Wandel der Jahrhunderte darstellt.

Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen und 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
Stellt die geschichtliche Entwicklung dar, schildert die wirtschaftlichen, sozialen und staatsrechtlichen Verhältnisse und gibt ein zusammenfassendes Bild von der äußeren Erscheinung und dem inneren Leben der deutschen Städte.

Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Regierungs-Baumeister a. D. Albert Erbe. Mit 59 Abbildungen. (Bd. 117.)
Will dem Sinn für die Reize der alten malerischen Städtebilder durch eine Schilderung der eigenartigen Herrlichkeit Alt-Hollands wie Niederdeutschlands, ferner Danzigs, Lübecks, Bremens und Hamburgs nicht nur vom rein künstlerischen, sondern auch vom kulturgeschichtlichen Standpunkt aus entgegen kommen.

Das deutsche Dorf. Von Robert Mielke. Mit 51 Abbild. (Bd. 192.)
Schildert die Entwicklung des deutschen Dorfes von den Anfängen dörflicher Siedelungen an bis in die Neuzeit, in der uns ein fast wunderbares Mosaik ländlicher Siedelungstypen entgegentritt.

Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. Rudolf Meringer. Mit 106 Abbildungen. (Bd. 116.)
Will das Interesse an dem deutschen Hause, wie es geworden ist, fördern, indem es das „Herdhaus", das oberdeutsche Haus, die Einrichtung der für dieses charakteristischen Stube, den Ofen, den Tisch, das Eßgerät schildert und einen Überblick über die Herkunft von Haus und Hausrat gibt.

Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Regierungsbaumeister a. D. Christian Ranck. Mit 70 Abbildungen. (Bd. 121.)
Gibt eine Entwicklungsgeschichte des deutschen Bauernhauses von der germanischen Urzeit über Skandinavien und Mittelalter bis zur Gegenwart.

Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. Heinrich Gerdes. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 320.)
Gibt eine Darstellung der schicksalsreichen Entwicklungsgeschichte des deutschen Bauernstandes von der germanischen Urzeit bis zur Gegenwart.

Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Direktor Dr. Eduard Otto. 3. Auflage. Mit 27 Abbildungen. (Bd. 14.)
Eine Darstellung der Entwicklung des deutschen Handwerks bis in die neueste Zeit und der Handwerkerbewegungen des 19. Jahrhunderts wie des älteren Handwerkslebens, seiner Sitten, Bräuche und Dichtung.

Deutsche Volksfeste und Volkssitten. Von Hermann S. Rehm. Mit 11 Abbildungen. (Bd. 214.)
Will durch die Schilderung der wichtigsten deutschen Volksfeste und Bräuche Teilnahme und Verständnis für sie als Äußerungen des Seelenlebens unseres Volkes neu erwecken und beleben.

Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer Carl Spieß. (Bd. 342.)

Die Münze als historisches Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. Arnold Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abbildungen. (Bd. 91.)

Zeigt, wie Münzen zur Aufhellung der wirtschaftlichen Zustände und der Rechtseinrichtungen früherer Zeiten dienen; legt die verschiedenen Arten von Münzen, ihre äußeren und inneren Merkmale sowie ihre Herstellung in historischer Entwicklung dar und gibt im Anschluß daran Münzensammlern beherzigenswerte Winke.

Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abbildung. (Bd. 182.)

Inhalt: Buchgewerbe und Wissenschaft: Prof. Dr. Rudolf Focke. — Buchgewerbe und Literatur: Prof. Dr. Georg Witkowski. — Buchgewerbe und Kunst: Prof. Dr. Rudolf Kautzsch. — Buchgewerbe und Religion: Privatdozent Lic. Dr. Heinrich Hermelink. — Buchgewerbe und Staat: Prof. Dr. Robert Wuttke. — Buchgewerbe und Volkswirtschaft: Prof. Dr. Heinrich Waentig.
Will für das mit sämtlichen Gebieten deutscher Kultur durch tausend Fäden verknüpfte Buchgewerbe verständnisvolle Freunde, tatkräftige Berufsgenossen werben.

Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 3., verbesserte Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 4.)

Ein Überblick über die Entwicklung des Schrift-, Brief- und Zeitungswesens, des Buchhandels und der Bibliotheken von den Zeiten der Babylonier bis auf die modernsten technischen Errungenschriften.

Das Zeitungswesen. Von Dr. Hermann Diez. (Bd. 328.)

Will durch Aufweisung der historischen und sozialen Grundlagen des heutigen Pressewesens zu einem Verständnis dieses mächtigen modernen Kulturfaktors führen.

Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. Siegmund Günther. 2. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Bd. 26.)

Schildert die großen weltbewegenden Ereignisse der geographischen Renaissancezeit von der Begründung der portugiesischen Kolonialherrschaft und den Fahrten des Kolumbus an bis zu dem Hervortreten der französischen, britischen und holländischen Seefahrer.

Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. Ottocar Weber. 2 Bände. (Bd. 123. 124.)

Ein knappes und doch eindrucksvolles Bild der nationalen und kulturellen Entwicklung der Neuzeit, das aus den vier Jahrhunderten je drei Persönlichkeiten herausgreift, die bestimmend eingegriffen haben in den Werdegang deutscher Geschichte.

Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. Mit 2 Bildnissen. (Bd. 246.)

Schildert in knapper, wohldurchdachter, durch charakteristische Selbstzeugnisse und authentische Äußerungen bedeutender Zeitgenossen belebter Darstellung des großen Königs Leben und Wirken, das den Grund gelegt hat für die ganze spätere geschichtliche und kulturelle Entwicklung Deutschlands.

Geschichte der Französischen Revolution. Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. (Bd. 346.)

Napoleon I. Von Prof. Dr. Theodor Bitterauf. 2. Auflage. Mit einem Bildnis Napoleons. (Bd. 195.)

Will zum Verständnis für das System Napoleons führen und zeigen, wie die napoleonischen Kriege nur unter dem Gesichtswinkel der imperialistischen Politik zu verstehen sind.

Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert. Von Prof. Dr. Karl Theodor v. Heigel. 2. Auflage. (Bd. 129.)

Bietet eine knappe Darstellung der wichtigsten politischen Ereignisse im 19. Jahrhundert, womit eine Schilderung der politischen Ideen Hand in Hand geht, und wobei der innere Zusammenhang der einzelnen Vorgänge dargelegt, auch Sinnesart und Taten wenigstens der einflußreichsten Persönlichkeiten gewürdigt werden.

Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)

Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. (Bd. 101.)

Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. Richard Schwemer. (Bd. 102.)
Die 3 Bände geben zusammen eine in Auffassung und Darstellung durchaus eigenartige Geschichte des deutschen Volkes im 19. Jahrhundert. „Restauration und Revolution" behandelt das Leben und Streben des deutschen Volkes von dem ersten Aufleuchten des Gedankens des nationalen Staates bis zu dem tragischen Fehlschlagen aller Hoffnungen in der Mitte des Jahrhunderts. „Die Reaktion und die neue Ära", beginnend mit der Zeit der Ermattung nach dem großen Aufschwung von 1848, stellt in den Mittelpunkt des Prinzen von Preußen und Otto von Bismarcks Schaffen. „Vom Bund zum Reich" zeigt uns Bismarck mit sicherer Hand die Grundlage des Reiches vorbereitend und dann immer entschiedener allem Geschehenen das Gepräge seines Geistes verleihend.

1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Ottocar Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)
Sucht in kritischer, abwägender Darstellung den einzelnen Ständen und Parteien, den rechts und links auftretenden Extremen gerecht zu werden und hebt besonders den großartigen deutschnationalen Aufschwung jenes Jahres hervor.

Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charmatz. 2 Bände. (Bd. 242. 243.)
Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242.)
Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)
Gibt zum ersten Male in lebendiger und klarer Sprache eine Gesamtdarstellung der Entstehung des modernen Österreichs, seiner interessanten, durch das Zusammenwirken der verschiedensten Faktoren bedingten innerpolitischen Entwicklung seit 1848.

Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrh. bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. Wilh. Langenbeck. Mit 19 Bildnissen. (Bd. 174.)
Eine großzügige und fesselnde Darstellung der für uns so bedeutsamen Entwicklung des britischen Weltreichs, seiner inneren und äußeren Ausgestaltung als einer der gewaltigsten Erscheinungen der Weltgeschichte.

Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. Ernst Daenell. (Bd. 147.)
Gibt eine übersichtliche Darstellung der geschichtlichen, kulturgeschichtlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Vereinigten Staaten mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen politischen, ethnographischen, sozialen und wirtschaftlichen Probleme der Gegenwart.

Die Amerikaner. Von Nicholas Murray Butler. Deutsche, durch Auszüge aus den Werken von A. Hamilton, A. Lincoln und R. W. Emerson vermehrte Ausgabe besorgt von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)
Entwirft in scharfen Linien ein Gesamtbild der heutigen amerikanischen Kultur und ihres historischen Entwicklungsganges.

Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Zwanglose Skizzen von Major Otto von Sothen. Mit 9 Übersichtskarten. (Bd. 59.)
In einzelnen Abschnitten wird insbesondere die Napoleonische und Moltkesche Kriegführung an Beispielen (Jena-Königgrätz-Sedan) dargestellt und durch Kartenskizzen erläutert. Damit verbunden sind kurze Schilderungen der preußischen Armee von 1806 und nach den Befreiungskriegen sowie nach der Reorganisation von 1860, endlich des deutschen Heeres von 1870 bis zur Gegenwart.

Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von Alfred Meyer, Hauptmann im Kgl. Sächs. Inf.-Reg. Nr. 133 in Zwickau. Mit 3 Abbildungen im Text und zwei Tafeln. (Bd. 271.)
Stellt die ungeheuren Umwälzungen dar, welche die Entwicklung des modernen Verkehrswesens und der modernen Technik auf das Kriegswesen ausgeübt hat, wie sie bei einem europäischen Krieg der Zukunft in die Erscheinung treten würden.

Der Seekrieg. Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von Kurt Freiherr von Maltzahn, Vize-Admiral a. D. (Bd. 99.)
Bringt den Seekrieg als Kriegsmittel wie als Mittel der Politik zur Darstellung, indem es zunächst die Entwicklung der Kriegsflotte und der Seekriegsmittel schildert und dann die heutigen Weltwirtschaftsstaaten und den Seekrieg behandelt.

Die moderne Friedensbewegung. Von Alfred H. Fried. (Bd. 157.)
Entwickelt das Wesen und die Ziele der Friedensbewegung, gibt eine Darstellung der Schiedsgerichtsbarkeit in ihrer Entwicklung und ihrem gegenwärtigen Umfang sowie des Abrüstungsproblemes und gibt zum Schluß einen eingehenden Überblick über die Geschichte der Friedensbewegung und eine chronologische Darstellung der für sie bedeutsamen Ereignisse.

Die moderne Frauenbewegung. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. Käthe Schirmacher. 2. Auflage. (Bd. 67.)
Unterrichtet eingehend und zuverlässig über die moderne Frauenbewegung aller Länder auf den Gebieten der Bildung, Arbeit, Sittlichkeit, Soziologie und Politik.

Hierzu siehe ferner:

H. v. Soden, Palästina und seine Geschichte. S. 3. **Thomsen**, Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. S. 4. **Neurath**, Antike Wirtschaftsgeschichte. S. 16. **Geffcken**, Aus der Werdezeit des Christentums. S. 4. **Sell**, Christentum und Weltgeschichte. S. 4. **Weise**, Die deutschen Volksstämme und Landschaften. S. 18. **Matthaei**, Deutsche Baukunst im Mittelalter. S. 9. **Bähnisch**, Die deutschen Personennamen. S. 7. **Böckel**, Die deutsche Volkssage. S. 7. **Bruinier**, Das deutsche Volkslied. S. 7. **Paulsen**, Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. S. 1. **Knabe**, Geschichte des deutschen Schulwesens. S. 1. **Knabe**, Das deutsche Unterrichtswesen. S. 1. **Tews**, Großstadtpädagogik. S. 1. **Bruchmüller**, Der Leipziger Student von 1409—1909. S. 1. **Boehmer**, Luther im Lichte der neueren Forschung. S. 4. **Sodeur**, Johann Calvin. S. 4. **Boehmer**, Die Jesuiten. S. 5. **Muckle**, Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrhundert. S. 15. **Pohle**, Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert. S. 16. **Laughlin**, Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. S. 16. **Schmidt**, Geschichte des Welthandels. S. 16. **Fried**, Internationales Leben der Gegenwart. S. 17. **Wislicenus**, Der Kalender. S. 26. **Ranck**, Geschichte der Gartenkunst. S. 9.

Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.

Deutsches Fürstentum und deutsches Verfassungswesen. Von Prof. Dr. Eduard Hubrich. (Bd. 80.)
Zeigt den Weg, auf dem deutsches Fürstentum und deutsche Volksfreiheit zu dem in der Gegenwart geltenden wechselseitigen Ausgleich gelangt sind, unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklungsgeschichte der preußischen Verfassung.

Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. Edgar Loening. 3. Auflage. (Bd. 34.)
Eine durch geschichtliche Rückblicke und Vergleiche das Verständnis des geltenden Rechtes fördernde Einführung in das Verfassungsrecht des Deutschen Reiches, soweit seine Kenntnis für jeden Deutschen erforderlich ist.

Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. Josef Kohler. (Bd. 128.)
Behandelt nach einem einleitenden Abschnitte über Rechtsphilosophie die wichtigsten und interessantesten Probleme der modernen Rechtspflege, insbesondere die des Strafrechts, des Strafprozesses, des Genossenschaftsrechts, des Zivilprozesses und des Völkerrechtes.

Die Psychologie des Verbrechers. Von Dr. Paul Pollitz, Strafanstaltsdirektor. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)
Gibt eine umfassende Übersicht und psychologische Analyse des Verbrechens als Produkt sozialer und wirtschaftlicher Verhältnisse, defekter geistiger Anlage wie persönlicher, verbrecherischer Tendenz.

Strafe und Verbrechen. Von Dr. Paul Pollitz, Strafanstaltsdirektor. (Bd. 323.)
Gibt an der Hand der Geschichte seiner Entwicklung eine allgemeine Übersicht über das gesamte Gebiet des Strafvollzugs und der Verbrechensbekämpfung, unter besonderer Berücksichtigung der gegenwärtig aktuellen Reformprobleme.

Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkskundlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsreferendar Dr. Albert Hellwig. (Bd. 212.)
Bietet eine Reihe interessanter Bilder aus dem Gebiete des kriminellen Aberglaubens, wie z. B. von modernen Hexenprozessen, Vampyrglauben, Sympathiekuren, verborgenen Schätzen, Meineidszeremonien usw.

Das deutsche Zivilprozeßrecht. Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. Ein Leitfaden für Laien, Studierende und Juristen. (Bd. 315.)
Die erste zusammenfassende Orientierung auf Grund der neuen Zivilprozeßreform.

Ehe und Eherecht. Von Prof. Dr. Ludwig Wahrmund. (Bd. 115.)
Schildert die historische Entwicklung des Ehebegriffes nach seiner natürlichen, sittlichen und rechtlichen Seite, untersucht das Verhältnis von Staat und Kirche auf dem Gebiete des Eherechtes und behandelt darüber hinaus auch alle jene Fragen über die rechtliche Stellung der Frau und besonders der Mutter, die immer lebhafter die öffentliche Meinung beschäftigen.

Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanwalt Bernhard Tolksdorf. (Bd. 138.)
Behandelt die geschichtliche Entwicklung des gewerblichen Rechtsschutzes und führt in Sinn und Wesen des Patent-, Muster- und Warenzeichenrechts ein.

Die Miete nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch. Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanwalt Dr. Max Strauß. (Bd. 194.)
Will durch eine objektive, gemeinverständliche Darstellung des Mietrechts die beiden Gruppen Mieter und Vermieter über ihr gegenseitiges Verhältnis aufklären und gleichzeitig durch Berücksichtigung der einschlägigen Literatur und Entscheidungen dem praktischen Juristen als Handbuch dienen.

Das Wahlrecht. Von Regierungsrat Dr. Oskar Poensgen. (Bd. 249.)
Bietet eine Würdigung der verschiedenen Wahlrechtssysteme und Bestimmungen sowie eine Übersicht über die heutzutage in den einzelnen Staaten geltenden Wahlrechte.

Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanwalt Paul Bienengräber. 2 Bände. (Bd. 219. 220.)
Band I: Die Familie. (Bd. 219.) Band II: Der Haushalt. (Bd. 220.)
Behandelt in anregender, durch zahlreiche, dem täglichen Leben entnommene Beispiele belebter Darstellung alle in der Familie und dem Haushalt vorkommenden Rechtsfragen und Rechtsfälle.

Finanzwissenschaft. Von Professor Dr. S. P. Altmann. (Bd. 306.)
Ein Überblick über das Gesamtgebiet der Finanzwissenschaft, der jedem die Möglichkeit einer objektiv-wissenschaftlichen Beurteilung der Reichsfinanzreform bietet.

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von Gustav Maier. 4. Auflage. (Bd. 2.)
Schildert die sozialen Bewegungen und Theorien in ihrer geschichtlichen Entwicklung von den altorientalischen und antiken Kulturvölkern an durch das Mittelalter bis zur Entstehung des modernen Sozialismus.

Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrhundert. Von Privatdozent Dr. Friedrich Muckle. 2 Bände. (Bd. 269. 270.)
Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.)
Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd. 270.)
Gibt eine seine philosophischen Grundlagen aufzeigende Darstellung der Entwicklung des sozialen Ideals im 19. Jahrhundert mit liebevoller Charakterisierung der Einzelpersönlichkeiten von Owen, Fourier, Weitling über Proudhon, Saint-Simon, Rodbertus bis zu Karl Marx und Lassalle.

Geschichte des Welthandels. Von Oberlehrer Dr. M. G. Schmidt. (Bd. 118.)
Behandelt die Entwicklung des Handels vom Altertum an über das Mittelalter, in dem Konstantinopel, seit den Kreuzzügen Italien und Deutschland den Weltverkehr beherrschen, zur Neuzeit, die mit der Entdeckung Amerikas beginnt, und bis zur Gegenwart, in der auch der deutsche Kaufmann den ganzen Erdball erobert.

Geschichte d. deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)
Schildert die Entwicklung von primitivsten prähistorischen Anfängen bis zur heutigen Weltmachtstellung des deutschen Handels mit ihren Bedingungen und gibt ein übersichtliches Bild dieses weitverzweigten Organismus.

Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. Paul Arndt. (Bd. 179.)
Stellt unsere wirtschaftlichen Beziehungen zum Auslande sowie die Ursachen der gegenwärtigen hervorragenden Stellung Deutschlands in der Weltwirtschaft dar, erörtert die Vorteile und Gefahren dieser Stellung eingehend und behandelt endlich die vielen wirtschaftlichen und politischen Aufgaben, die sich aus Deutschlands internationaler Stellung ergeben.

Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert von weil. Prof. Dr. Christian Gruber. 2. Auflage. Neubearbeitet von Dr. Hans Reinlein. (Bd. 42.)
Will Verständnis für den sieghaften Aufschwung unseres wirtschaftlichen Lebens seit der Wiederaufrichtung des Reichs herbeiführen und darlegen, inwieweit sich Produktion und Verkehrsbewegung auf die natürlichen Gelegenheiten, die geographischen Vorzüge unseres Vaterlandes stützen können und in ihnen sicher verankert liegen.

Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrhundert. Von Prof. Dr. Ludwig Pohle. 2. Auflage. (Bd. 57.)
Eine objektive, ruhig abwägende Darstellung der gewaltigen Umwälzung, die das deutsche Wirtschaftsleben im Laufe des einen Jahrhunderts erfahren hat.

Das Hotelwesen. Von Paul Damm-Etienne. Mit 30 Abbild. (Bd. 331.)
Ein Überblick über Entwicklung und Bedeutung, Organisation und Betrieb, soziale und rechtliche Stellung des Hotelwesens.

Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. Walter Claaßen. Mit 15 Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 215.)
Behandelt die natürlichen Grundlagen der Bodenbereitung, die Technik und Betriebsorganisation des Bodenbaues und der Viehhaltung, die volkswirtschaftliche Bedeutung des Landbaues sowie die agrarpolitischen Fragen, ferner die Bedeutung des Menschen als Produktionsfaktor in der Landwirtschaft und andererseits die Rolle, die das Landvolk im Lebensprozesse der Nation spielt.

Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.)
Gibt in knappen Zügen ein vollständiges Bild von dem Stande der inneren Kolonisation in Deutschland als einer der volkswirtschaftlich, wie sozial und national wichtigsten Aufgaben der Gegenwart.

Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)
Gibt auf Grund der modernen Forschungen einen gemeinverständlichen Überblick über die Wirtschaftsgeschichte der Antike unter stetem Vergleich mit modernen Verhältnissen.

Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. Laurence Laughlin. Mit 9 graphischen Darstellungen. (Bd. 127.)
Ein Amerikaner behandelt für deutsche Leser die wirtschaftlichen Fragen, die augenblicklich im Vordergrunde des öffentlichen Lebens in Amerika stehen.

Die Japaner und ihre wirtschaftliche Entwicklung. Von Prof. Dr. Karl Rathgen. (Bd. 72.)
Schildert auf Grund langjähriger eigener Erfahrungen Land und Leute, Staat und Wirtschaftsleben sowie die Stellung Japans im Weltverkehr und ermöglicht so ein wirkliches Verständnis für die staunenswerte innere Neugestaltung des Landes in den letzten Jahrzehnten.

Die Gartenstadtbewegung. Von Generalsekr. Hans Kampffmeyer. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 259.)

Orientiert zum ersten Male umfassend über Ursprung und Geschichte, Wege und Ziele, Bedeutung und Erfolge der Gartenstadtbewegung.

Das internationale Leben der Gegenwart. Von Alfred H. Fried. Mit einer lithographischen Tafel. (Bd. 226.)

Ein „Baedeker für das internationale Land", der durch eine Zusammenstellung der internationalen Vereinbarungen und Einrichtungen nach ihrem Umfang und ihrer Wirksamkeit zu zeigen sucht, wie weit der internationale Zusammenschluß der Kulturwelt auf nationaler Grundlage bereits gediehen ist.

Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. Max Haushofer. (Bd. 50.)

Will in gedrängter Form das Wesentliche der Bevölkerungslehre geben über Ermittlung der Volkszahl, über Gliederung und Bewegung der Bevölkerung, Verhältnis der Bevölkerung zum bewohnten Boden und die Ziele der Bevölkerungspolitik.

Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. Otto v. Zwiedineck-Südenhorst. (Bd. 78.)

Bietet eine gedrängte Darstellung des gemeiniglich unter dem Titel „Arbeiterfrage" behandelten Stoffes unter besonderer Berücksichtigung der Fragen der Notwendigkeit, Zweckmäßigkeit und der ökonomischen Begrenzung der einzelnen Schutzmaßnahmen und Versicherungseinrichtungen.

Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)

Stellt die Konsumgenossenschaft nach ihrer Bedeutung und ihren Grundlagen, ihrer geschichtlichen Entwicklung und heutigen Organisation und in ihren Kämpfen und Zukunftsaussichten dar.

Die Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus. Von Privatdozent Dr. Robert Wilbrandt. (Bd. 106.)

Behandelt von dem Verhältnis von Beruf und Mutterschaft aus, als dem zentralen Problem der ganzen Frage, die Ursachen der niedrigen Bezahlung der weiblichen Arbeit, die daraus entstehenden Schwierigkeiten in der Konkurrenz der Frauen mit den Männern, den Gegensatz von Arbeiterinnenschutz und Befreiung der weiblichen Arbeit.

Grundzüge d. Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. (Bd. 105.)

Behandelt die Stellung der Versicherung im Wirtschaftsleben, ihre Entwicklung und Organisation, den Geschäftsgang eines Versicherungsbetriebs, die Versicherungspolitik, das Versicherungsvertragsrecht und die Versicherungswissenschaft, ebenso die einzelnen Zweige der Versicherung, wie Lebensversicherung, Unfallversicherung usw.

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. Walter Lotz. 3. Auflage. (Bd. 15.)

Gibt nach einer kurzen Übersicht über die Hauptfortschritte in den Verkehrsmitteln eine Geschichte des Eisenbahnwesens, schildert den heutigen Stand der Eisenbahnverfassung, das Güter- und das Personentarifwesen, die Reformversuche und die Reformfrage, ferner die Bedeutung der Binnenwasserstraßen und endlich die Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat Johannes Bruns. (Bd. 165.)

Eine umfassende Darstellung des gesamten Postwesens unter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung sowie der Bedürfnisse der Praxis.

Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat Johannes Bruns. Mit 4 Figuren. (Bd. 183.)

Gibt auf der Grundlage eingehender praktischer Kenntnis der einschlägigen Verhältnisse einen Einblick in das für die heutige Kultur so bedeutungsvolle Gebiet der Telegraphie und seine großartigen Fortschritte.

Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninspektor Helmut Brick. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 235.)
Schildert unter klarer Veranschaulichung der zugrundeliegenden Prinzipien den Entwicklungsgang der Telegraphen- und Fernsprechtechnik von Flammenzeichen und Rufposten bis zum modernen Mehrfach- und Maschinentelegraphen und von Philipp Reis' und Graham Bells Erfindung bis zur Einrichtung unserer großen Fernsprechämter.

Deutsche Schiffahrt und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. Karl Thieß. (Bd. 169.)
Gibt in übersichtlicher Darstellung der großen für ihre Entwicklung und ihr Gedeihen in Betracht kommenden volkswirtschaftlichen Gesichtspunkte eine Nationalökonomik der deutschen Schiffahrt.

Hierzu siehe ferner:

Bloch, Soziale Kämpfe im alten Rom. S. 10. **Gerdes**, Geschichte des deutschen Bauernstandes. S. 11. **Barth**, Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. S. 18. **Butler**, Die Amerikaner. Deutsch von Dr. Paszkowski. S. 13.

Erdkunde.

Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. Alfred Kirchhoff. 3. Auflage. (Bd. 31.)
Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt, durch Schilderungen allgemeiner und besonderer Art, der Steppen- und Wüstenvölker, der Entstehung von Nationen, wie Deutschland und China u. a. m.

Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. Von Professor Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 302.)
Behandelt auf Grund der neuesten Forschungen die vielumstrittenen Probleme der Eiszeit mit besonderer Berücksichtigung des Auftretens des Menschen und der Anfänge der menschlichen Kultur.

Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. Kurt Hassert. Mit 21 Abbildungen. (Bd. 163.)
Erörtert die Ursachen des Entstehens, Wachsens und Vergehens der Städte, sowie ihre wirtschaftsgeographische Bedeutung und schildert das Städtebild als geographische Erscheinung.

Wirtschaftl. Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Christian Gruber. (Bd. 122.)
Will die ursprünglichen Zusammenhänge zwischen der natürlichen Ausstattung der einzelnen Länder und der wirtschaftlichen Kraftäußerung ihrer Bewohner klarmachen und Verständnis für die wahre Machtstellung der einzelnen Völker und Staaten erwecken.

Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. Oskar Weise. 3. Aufl. Mit 29 Abbildungen im Text und auf 15 Tafeln. (Bd. 16.)
Schildert, durch eine gute Auswahl von Städte-, Landschafts- und anderen Bildern unterstützt, die Eigenart der deutschen Gaue und Stämme, die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, den Einfluß auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer, Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen u. a. m.

Die deutschen Kolonien. (Land und Leute.) Von Dr. Adolf Heilborn. 2. Auflage. Mit 26 Abbildungen und 2 Karten. (Bd. 98.)
Gibt eine durch Abbildungen und Karten unterstützte objektive und allseitige Darstellung der geographischen und ethnographischen Grundlagen, wie der wirtschaftlichen Entwicklung unserer deutschen Kolonien.

Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)
Unsere kolonisatorischen Errungenschaften materieller und ideeller Art, wie auch die weitere Entwicklungsfähigkeit unserer Schutzgebiete werden geographisch und statistisch begründet.

Die Alpen. Von Hermann Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)
Gibt, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, eine umfassende Schilderung des Reiches der Alpen in landschaftlicher, erdgeschichtlicher, sowie klimatischer, biologischer, wirtschaftlicher und verkehrstechnischer Hinsicht.

Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. Kurt Hassert. 2. Auflage. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)
Faßt in gedrängtem Überblick die Fortschritte und wichtigsten Ergebnisse der Nord- und Südpolarforschung von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart zusammen.

Der Orient. Eine Länderkunde. Von Ewald Banse. (Bd. 277. 278. 279.)
Band I. Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abbildungen, 10 Kartenskizzen, 3 Diagrammen und 1 Tafel. (Bd. 277.)
Band II. Der arabische Orient. Mit 29 Abbildungen und 7 Diagrammen. (Bd. 278.)
Band III. Der arische Orient. Mit 34 Abbild., 3 Kartenskizzen und 2 Diagrammen. (Bd. 279.)
Der erste Band gibt, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, eine lebendige Schilderung von Land, Leuten und wirtschaftlichen Verhältnissen in Marokko, Algier und Tunis, der zweite eine solche von Ägypten, Arabien, Syrien und Mesopotamien, der dritte von Kleinasien, Armenien und Iran.

Anthropologie. Heilwissenschaft u. Gesundheitslehre.

Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. Adolf Heilborn. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 62.)
Gibt auf Grund der neuesten Funde und an der Hand zahlreicher Abbildungen eine Übersicht über unsere Kenntnis der Entwicklung des Menschengeschlechts von seiner Abzweigung aus der Reihe der tierischen Vorfahren bis zur Schwelle der historischen Zeit.

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. Edmund Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)
Will in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens einführen, indem die geschichtliche Entwicklung der medizinischen Grundbegriffe, die Fortschritte der modernen Heilkunst, die Beziehungen zwischen Diagnose und Therapie, sowie die Grenzen der modernen Diagnostik behandelt werden.

Der Arzt. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. Moritz Fürst. (Bd. 265.)
Gibt einen vollständigen Überblick über das Wesen des ärztlichen Berufes in seinen verschiedenen Betätigungen und veranschaulicht die heutige soziale Bedeutung unseres Ärztestandes.

Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Prof. Dr. D. von Hansemann. (Bd. 83.)
Behandelt alle menschlichen Verhältnisse, die in irgendeiner Beziehung zu Leben und Gesundheit stehen, besonders mit Rücksicht auf viele schädliche Arten des Aberglaubens, die geeignet sind, Krankheiten zu fördern, die Gesundheit herabzusetzen und auch in moralischer Beziehung zu schädigen.

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Privatdozent Dr. Heinrich Sachs. 3., verb. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 32.)
Will den menschlichen Körper in der Organisation des Zusammenwirkens aller seiner Teile unter den Gesetzen des allgemeinen Naturgeschehens begreifen lehren.

Die Anatomie des Menschen. Von Prof. Dr. Karl v. Bardeleben. In 5 Bänden. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.)
I. Teil: Allgemeine Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abbildungen. (Bd. 201.)
II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abbildungen. (Bd. 202.)
III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abbildungen. (Bd. 203.)
IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.)
V. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 263.)
In dieser Reihe von 5 Bänden wird die menschliche Anatomie in knappem, für gebildete Laien leicht verständlichem Texte dargestellt, wobei eine große Anzahl sorgfältig ausgewählter Abbildungen die Anschaulichkeit erhöht. Der erste Band enthält u. a. einiges aus der Geschichte der Anatomie von Homer bis zur Neuzeit, ferner die Zellen- und Gewebelehre, die Entwicklungsgeschichte, sowie Formen, Maß und Gewicht des Körpers. Im zweiten Band werden dann Skelett, Knochen und die Gelenke nebst einer Mechanik der letzteren, im dritten die bewegenden Organe des Körpers, die Muskeln, das Herz und die Gefäße, im vierten die Eingeweidelehre, namentlich der Darmtraktus, sowie die Harn- und Geschlechtsorgane, und im

fünften werden die verschiedenen Ruhelagen des Körpers, Liegen, Stehen, Sitzen usw., sodann die verschiedenen Arten der Ortsbewegung, Gehen, Laufen, Tanzen, Schwimmen, Reiten usw., endlich die wichtigsten Bewegungen innerhalb des Körpers, die der Wirbelsäule, des Herzens und des Brustkorbes bei der Atmung zur Darstellung gebracht.

Moderne Chirurgie. Von Prof. Dr. Feßler. Mit Abbild. (Bd. 339.)

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 3. Aufl., besorgt von Prof. Dr. M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)

Unterrichtet über die äußeren Lebensbedingungen des Menschen, über das Verhältnis von Luft, Licht und Wärme zum menschlichen Körper, über Kleidung und Wohnung, Bodenverhältnisse und Wasserversorg ng, die Krankheiten erzeugenden Pilze und die Infektionskrankheiten, kurz über die wichtigsten Fragen der Hygiene.

Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. Heinrich Rosin Mit 18 Abbildungen. (Bd. 312.)

Eine allgemeinverständliche Darstellung von Bau und Funktion des Herzens und der Blutgefäße, sowie den verschiedenen Formen ihrer Erkrankungen.

Das menschliche Gebiß, seine Erkrankung und Pflege. Von Zahnarzt Fritz Jäger. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 229.)

Schildert Entwicklung und Aufbau, sowie die Erkrankungen der Zähne, die Wechselbeziehungen zwischen Zahnzerstörnis und Gesamtorganismus und die zur Schaffung und Erhaltung eines gesunden Gebisses dienlichen Maßnahmen.

Körperliche Verbildungen im Kindesalter und ihre Verhütung. Von Dr. Max David. Mit 26 Abbildungen. (Bd. 321.)

Gibt eine eingehende Schilderung der im Kindesalter eintretenden Verbildungen, ihrer Entstehungsursachen, Heilungsmethoden und vor allem der Mittel und Wege, den Kindern gerade und gesunde Gliedmaßen zu erhalten.

Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. Richard Zander. 2. Auflage. Mit 27 Figuren. (Bd. 48.)

Gewährt einen Einblick in das Wesen des Nervensystems und seiner Krankheiten, deren Vermeidung und Beseitigung.

Die fünf Sinne des Menschen. Von Prof. Dr. Josef Klemens Kreibig. 2. Auflage. Mit 30 Abbildungen. (Bd. 27.)

Eine Darstellung der einzelnen Sinnesgebiete, der Organe und ihrer Funktionsweise, der als Reiz wirkenden äußeren Ursachen, sowie der Empfindungen nach Inhalt, Stärke und Merkmalen.

Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Privatdozent Dr. med. Georg Abelsdorff. Mit 15 Abbildungen. (Bd. 149.)

Schildert die Anatomie des menschlichen Auges, sowie die Leistungen des Gesichtssinnes und behandelt die Hygiene des Auges, seine Erkrankungen und Verletzungen, Kurzsichtigkeit, Vererbung usw.

Die menschliche Stimme und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. Paul H. Gerber. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 136.)

Nach den notwendigsten Erörterungen über das Zustandekommen und über die Natur der Töne werden der Kehlkopf des Menschen und seine Funktion als musikalisches Instrument behandelt; dann werden die Gesang- und die Sprechstimme, ihre Ausbildung, ihre Fehler und Erkrankungen, sowie deren Verhütung und Behandlung erörtert.

Die Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generaloberarzt Prof. Dr. Wilhelm Schumburg. Mit 4 Abbildungen und 1 Tafel. (Bd. 251.)

Gibt in sachlicher, aber rückhaltlos offener Darlegung ein Bild von dem Wesen der Geschlechtskrankheiten und von ihren Erregern, erörtert ausführlich ihre Bekämpfung und Verhütung, mit besonderer Rücksicht auf das gefährliche Treiben der Prostitution und der Kurpfuscher, die persönlichen Schutzmaßregeln, sowie die Aussichten auf erfolgreiche Behandlung.

Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generaloberarzt Prof. Dr. Wilhelm Schumburg. Mit 1 Tafel und 8 Figuren. (Bd. 47.)
Schildert nach einem Überblick über die Verbreitung der Tuberkulose das Wesen derselben, beschäftigt sich eingehend mit dem Tuberkelbazillus, bespricht die Maßnahmen, durch die man ihn von sich fernhalten kann, und erörtert die Fragen der Heilung der Tuberkulose.

Die krankheiterregenden Bakterien. Von Privatdozent Dr. Max Loehlein. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 307.)
Gibt eine Darstellung der wichtigsten Errungenschaften der modernen Bakteriologie und eine Übersicht über die häufigen Infektionskrankheiten nach dem Stande der neueren Forschungen.

Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. Georg Ilberg. (Bd. 151.)
Erörtert an eingehend dargestellten Beispielen die wichtigsten Formen geistiger Erkrankung, um so die richtige Beurteilung der Zeichen geistiger Erkrankung und damit eine rechtzeitige verständnisvolle Behandlung derselben zu ermöglichen.

Krankenpflege. Von Chefarzt Dr. Bruno Leick. (Bd. 152.)
Erörtert nach einem Überblick über Bau und Funktion der inneren Organe und deren hauptsächlichsten Erkrankungen die hierbei zu ergreifenden Maßnahmen, wobei besonders eingehend die Pflege bei Infektionskrankheiten, sowie bei plötzlichen Unglücksfällen und Erkrankungen behandelt werden.

Gesundheitslehre für Frauen. Von weil. Privatdozent Dr. Roland Sticher. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 171.)
Unterrichtet über den Bau des weiblichen Organismus und seine Pflege vom Kindesalter an, vor allem aber eingehend über den Beruf der Frau als Gattin und Mutter.

Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. Walter Kaupe. Mit 17 Abbildungen. (Bd. 154.)
Will der jungen Mutter oder Pflegerin in allen in Betracht kommenden Fragen den nötigen Rat erteilen. Außer der allgemeinen geistigen und körperlichen Pflege des Kindchens werden besonders die natürliche und künstliche Ernährung behandelt und für alle diese Fälle zugleich praktische Anleitung gegeben.

Der Alkoholismus. Herausgegeben vom Zentralverband zur Bekämpfung des Alkoholismus. In 3 Bänden. [Bd. 103 vergriffen.] (Bd. 103. 104. 145.)
Die drei Bändchen sind ein kleines wissenschaftliches Kompendium der Alkoholfrage, verfaßt von den besten Kennern der mit ihr zusammenhängenden sozial-hygienischen und sozial-ethischen Probleme, und enthalten eine Fülle von Material in übersichtlicher und schöner Darstellung.

Ernährung und Volksnahrungsmittel. Von weil. Prof. Dr. Johannes Frentzel. 2. Auflage. Neu bearbeitet von Geh. Rat Prof. Dr. N. Zuntz. Mit 7 Abbildungen und 2 Tafeln. (Bd. 19.)
Gibt einen Überblick über die gesamte Ernährungslehre. Durch Erörterung der grundlegenden Begriffe werden die Zubereitung der Nahrung und der Verdauungsapparat besprochen und endlich die Herstellung der einzelnen Nahrungsmittel, insbesondere auch der Konserven behandelt.

Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. Richard Zander. 3. Auflage. Mit 19 Abbildungen. (Bd. 13.)
Will darüber aufklären, weshalb und unter welchen Umständen die Leibesübungen segensreich wirken, indem es ihr Wesen, andererseits die in Betracht kommenden Organe bespricht; erörtert besonders die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sportes und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen.

Hierzu siehe ferner:

Burgerstein, Schulhygiene. S. 3. **Verworn,** Mechanik des Geisteslebens. S. 6. **Trömner,** Hypnotismus und Suggestion. S. 6. **Gaupp,** Psychologie des Kindes. S. 1.

Naturwissenschaften. Mathematik.

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Prof. Dr. Felix Auerbach. 3. Auflage. Mit 79 Figuren. (Bd. 40.)

Gibt eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der Begriffe, welche den Bau der modernen exakten Naturwissenschaften begründen und beherrschen.

Die Lehre von der Energie. Von Dr. Alfred Stein. Mit 13 Figuren. (Bd. 257.)

Vermittelt für jeden verständlich eine Vorstellung von der umfassenden Einheitlichkeit, die durch die Aufstellung des Energiegesetzes in unsere gesamte Naturauffassung gekommen ist.

Moleküle — Atome — Weltäther. Von Prof. Dr. Gustav Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren. (Bd. 58.)

Stellt die physikalische Atomlehre als die kurze, logische Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen unter einem Begriffe dar, die ausführlich und nach Möglichkeit als einzelne Experimente geschildert werden.

Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abbildungen. (Bd. 324.)

Gibt eine allgemeinverständliche Würdigung des Wirkens und Lebens der Physiker, welche die Wissenschaft zu ihrer heutigen Höhe geführt haben, von Galilei, Huyghens, Newton, Faraday, Helmholtz.

Werdegang der modernen Physik. Von Dr. Hans Keller. (Bd. 343.)

Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. Leo Graetz. 3. Auflage. Mit 117 Abbildungen. (Bd. 17.)

Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben und behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungserscheinungen und die Photographien.

Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. Richard Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Auflage. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)

Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Hertzschen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

Die optischen Instrumente. Von Dr. Moritz von Rohr. 2. Auflage. Mit 84 Abbildungen. (Bd. 88.)

Gibt eine elementare Darstellung der optischen Instrumente nach den modernen Anschauungen, wobei das Ultramikroskop, die neuen Apparate zur Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht, die Prismen- und die Zielfernrohre, die Projektionsapparate und stereoskopischen Entfernungsmesser erläutert werden.

Spektroskopie. Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 284.)

Gibt eine von zahlreichen Abbildungen unterstützte Darstellung der spektroskopischen Forschung und ihrer weittragenden Ergebnisse für Wissenschaft und Technik.

Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abbildungen. (Bd. 35.)

Nach Erläuterung der optischen Konstruktion und Wirkung des Mikroskops und Darstellung der historischen Entwicklung wird eine Beschreibung der modernsten Mikroskoptypen, Hilfsapparate und Instrumente gegeben und gezeigt, wie die mikroskopische Untersuchung die Einsicht in Naturvorgänge vertieft.

Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Theodor Hartwig. Mit 40 Abbildungen und 19 Tafeln. (Bd. 135.)

Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereokomparators.

Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. Richard Börnstein. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 172.)

Behandelt ausführlich die Tatsachen und Gesetze der Wärmelehre, Ausdehnung erwärmter Körper und Temperaturmessung, Wärmemessung, Wärme- und Kältequellen, Wärme als Energieform, Schmelzen und Erstarren, Sieden, Verdampfen und Verflüssigen, Verhalten des Wasserdampfes in der Atmosphäre, Dampf- und andere Wärmemaschinen und schließlich die Bewegung der Wärme.

Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. Heinrich Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

Ein Überblick über die künstliche Erzeugung tiefster Temperaturen und ihre so wichtige technische Verwendung.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. Reinhart Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abbildungen. (Bd. 5.)

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die außerordentliche Bedeutung derselben für unser Wohlergehen.

Das Wasser. Von Privatdoz. Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

Gibt eine zusammenfassende Darstellung unseres gesamten Wissens über das Wasser, das Lebenselement der Erde, unter besonderer Berücksichtigung des praktisch Wichtigen.

Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr. B. Bavink. Mit 7 Figuren. (Bd. 187.)

Will einen Einblick in die wichtigsten theoretischen Erkenntnisse der organischen Chemie geben und das Verständnis für ihre darauf begründeten praktischen Entdeckungen und Erfindungen vermitteln.

Die Erscheinungen des Lebens. Von Privatdozent Dr. H. Miehe. Mit 40 Figuren. (Bd. 130.)

Sucht eine umfassende Totalansicht des organischen Lebens zu geben, indem es nach einer Erörterung der spekulativen Vorstellungen über das Leben und einer Beschreibung des Protoplasmas und der Zelle die hauptsächlichsten Äußerungen des Lebens, wie Entwicklung, Ernährung, Atmung, das Sinnesleben, die Fortpflanzung, den Tod und die Variabilität behandelt.

Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. Richard Hesse. 3. Auflage. Mit 37 Figuren. (Bd. 39.)

Gibt einen kurzen, aber klaren Einblick in den gegenwärtigen Stand der Abstammungslehre und sucht die Frage, wie die Umwandlung der organischen Wesen vor sich gegangen ist, nach dem neuesten Stande der Forschung zu beantworten.

Experimentelle Biologie. Von Dr. Curt Thesing. Mit Abbild. 2 Bde.

Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.)
Band II: Regeneration, Selbstverstümmelung und Transplantation. (Bd. 337.)

Der bis jetzt vorliegende Band II behandelt die zu so großer Bedeutung gelangten Erscheinungen der Regeneration und Transplantation bei Tieren und Pflanzen nebst den damit in engem Zusammenhange stehenden Erscheinungen der Selbstverstümmelung und der ungeschlechtlichen Vermehrung. Ausführlich wird u. a. auf die den Regenerationsverlauf bestimmenden Faktoren eingegangen, dabei ergeben sich wichtige Folgerungen für das Vererbungsproblem und die Theorie der natürlichen Zuchtwahl. Die Ergebnisse der modernen Forschung werden dabei in einer Weise geboten, wie sie in so knapper Zusammenfassung bisher nicht bestand.

Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. Ernst Teichmann. Mit 7 Abbildungen und 4 Doppeltafeln. (Bd. 70.)
Eine gemeinverständliche, streng sachliche Darstellung der bedeutsamen Ergebnisse der modernen Forschung über das Befruchtungsproblem.

Das Werden und Vergehen der Pflanzen. Von Prof. Dr. Paul Gisevius. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 173.)
Eine leichtfaßliche Darstellung alles dessen, was uns allgemein an der Pflanze interessiert, eine kleine „Botanik des praktischen Lebens".

Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. Ernst Küster. Mit 38 Abbildungen. (Bd. 112.)
Gibt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Formen der vegetativen Vermehrung und beschäftigt sich eingehend mit der Sexualität der Pflanzen, deren überraschend vielfache und mannigfaltige Äußerungen, ihre große Verbreitung im Pflanzenreich und ihre in allen Einzelheiten erkennbare Übereinstimmung mit der Sexualität der Tiere zur Darstellung gelangen.

Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (die Getreidegräser). Von Prof. Dr. Karl Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Figuren. (Bd. 10.)
Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten, damit zugleich in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse vermittelnd.

Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. Ad. Wagner. Mit Abbildungen. (Bd. 344.)

Der deutsche Wald. Von Prof. Dr. Hans Hausrath. Mit 15 Abbildungen und 2 Karten. (Bd. 153.)
Schildert unter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Lebensbedingungen und den Zustand unseres deutschen Waldes, die Verwendung seiner Erzeugnisse sowie seine günstige Einwirkung auf Klima, Fruchtbarkeit, Sicherheit und Gesundheit des Landes, und erörtert zum Schlusse die Pflege des Waldes. Ein Büchlein also für jeden Waldfreund.

Die Pilze. Von Dr. A. Eichinger. Mit Abbildungen. (Bd. 334.)
Versucht, das Wesen der Pilze im allgemeinen zu charakterisieren. Ihre morphologischen und physiologischen Verhältnisse sind so interessant, ihre Wichtigkeit im Haushalt des Menschen und der Natur so groß, daß sie es mehr, als bisher geschehen, verdienen, von einem größeren Publikum beachtet zu werden.

Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthenner. (Bd. 332.)
Gibt nach dem neuesten Stande der Wissenschaft und Praxis einen Überblick über das Gesamtgebiet des Weinbaus und der Weinbereitung in historischer, biologischer, landwirtschaftlicher, chemischer und sozialer Hinsicht.

Der Obstbau. Von Dr. Ernst Voges. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 107.)
Will über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Obstbaues sowie seine Naturgeschichte und große volkswirtschaftliche Bedeutung unterrichten. Die Geschichte des Obstbaues, das Leben des Obstbaumes, Obstbaumpflege und Obstbaumschutz, die wissenschaftliche Obstkunde, die Ästhetik des Obstbaues gelangen zur Behandlung.

Kolonialbotanik. Von Privatdoz. Dr. F. Tobler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
Schildert die allgemeinen Grundlagen und Methoden tropischer Landwirtschaft und behandelt im besonderen die bekanntesten Kolonialprodukte, wie Kaffee, Zucker, Reis, Baumwolle usw.

Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke. Von Prof. Dr. Arwed Wieler. Mit 24 Abbildungen und 1 Karte. (Bd. 132.)
Behandelt Kaffee, Tee und Kakao, sowie Mate und Kola in bezug auf die Art und Verbreitung der Stammpflanzen, ihre Kultur und Ernte bis zur Gewinnung der fertigen Ware.

Die Pflanzenwelt des Mikroskops. Von Bürgerschullehrer Ernst Reukauf. Mit 100 Abbildungen. (Bd. 181.)
Eröffnet einen Einblick in den staunenswerten Formenreichtum des mikroskopischen Pflanzenlebens und lehrt den Ursachen ihrer wunderbaren Lebenserscheinungen nachforschen.

Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere). Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 39 Abbildungen. (Bd. 160.)
Eröffnet dem Naturfreunde ein Bild reichen Lebens im Wassertropfen und sucht ihn zugleich zu eigener Beobachtung anzuleiten.

Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Von Prof. Dr. K. Kraepelin. (Bd. 79.)
Stellt in großen Zügen eine Fülle wechselseitiger Beziehungen der Organismen zueinander dar. Familienleben und Staatenbildung der Tiere, wie die interessanten Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander werden geschildert.

Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Prof. Dr. Karl Eckstein. 2. Auflage. Mit 51 Figuren. (Bd. 18.)
Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf zwischen Mensch und Tier erfährt eine eingehende Darstellung, wobei besonders die Kampfmittel beider Gegner, hier Schußwaffen, Fallen, Gifte oder auch besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitzige Kralle, scharfer Zahn, furchtbares Gift, List und Gewandtheit geschildert werden.

Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von Privatdoz. Dr. Kurt Hennings. Mit 34 Abbildungen. (Bd. 142.)
Stellt die charakteristischen Eigenschaften aller Tiere — Bewegung und Empfindung, Stoffwechsel und Fortpflanzung — dar und sucht die Tätigkeit des Tierleibes aus seinem Bau verständlich zu machen.

Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere. Von Prof. Dr. Wilhelm Lubosch. Mit 107 Abbildungen. (Bd. 282.)
Gibt eine auf dem Entwicklungsgedanken aufgebaute allgemeinverständliche Darstellung eines der interessantesten Gebiete der modernen Naturforschung.

Die Stammesgeschichte unserer Haustiere. Von Prof. Dr. Carl Keller. Mit 28 Abbildungen. (Bd. 252.)
Schildert eingehend den Verlauf der Haustierwerdung, die allmählich eingetretene Umbildung der Rassen sowie insbesondere die Stammformen und Bildungsherde der einzelnen Haustiere.

Die Fortpflanzung der Tiere. Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 77 Abbildungen. (Bd. 253.)
Gewährt durch anschauliche Schilderung der zu den wechselvollsten und überraschendsten biologischen Tatsachen gehörenden Formen der tierischen Fortpflanzung sowie der Brutpflege Einblick in das mit der menschlichen Sittlichkeit in so engem Zusammenhang stehende Tatsachengebiet.

Deutsches Vogelleben. Von Prof. Dr. Alwin Voigt. (Bd. 221.)
Will durch Schilderung des deutschen Vogellebens in der Verschiedenartigkeit der Daseinsbedingungen in den wechselnden Landschaften die Kenntnis der charakteristischen Vogelarten und namentlich auch ihrer Stimmen fördern.

Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. Wilhelm R. Eckardt. Mit 6 Abbildungen. (Bd. 218.)
Eine wissenschaftliche Erklärung der rätselhaften Tatsachen des Vogelzugs und der daraus entspringenden praktischen Forderungen des Vogelschutzes.

Korallen und andere gesteinsbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 231.)
Schildert die gesteinsbildenden Tiere, vor allem die für den Bau der Erdrinde so wichtigen Korallen nach Bau, Lebensweise und Vorkommen.

Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. Otto Maas. Mit 11 Karten und Abbildungen. (Bd. 139.)
Zeigt die Tierwelt als Teil des organischen Erdganzen, die Abhängigkeit der Verbreitung des Tieres von dessen Lebensbedingungen wie von der Erdgeschichte, ferner von Nahrung, Temperatur, Licht, Luft und Vegetation, wie von dem Eingreifen des Menschen, und betrachtet an der Hand von Karten die geographische Einteilung der Tierwelt.

Die Bakterien. Von Prof. Dr. Ernst Gutzeit. Mit 13 Abbild. (Bd. 233.)
Setzt, gegenüber der laienhaften Identifikation von Bakterien und Krankheiten, die allgemeine Bedeutung der Kleinlebewelt für den Kreislauf des Stoffes in der Natur und dem Haushalt des Menschen auseinander.

Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. Kurt Lampert. Mit 52 Abbildungen. (Bd. 236.)
Gibt einen allgemeinverständlichen Überblick über die Gesamtheit des Tier- und Pflanzenreiches, über den Aufbau der Organismen, ihre Lebensgeschichte, ihre Abhängigkeit von der äußeren Umgebung und die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Gliedern der belebten Natur.

Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 37 Abbildungen. (Bd. 148.)
Die merkwürdigen, oft erstaunlichen Verschiedenheiten in Aussehen und Bau der Tiergeschlechter werden durch zahlreiche Beispiele aus allen Gruppen auf wissenschaftlicher Grundlage dargestellt.

Die Ameisen. Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 61 Figuren. (Bd. 94.)
Faßt die Ergebnisse der Forschungen über das Tun und Treiben einheimischer und exotischer Ameisen, über die Vielgestaltigkeit der Formen im Ameisenstaate, über die Bautätigkeit, Brutpflege und die ganze Ökonomie der Ameisen, über ihr Zusammenleben mit anderen Tieren und mit Pflanzen, und über die Sinnestätigkeit der Ameisen zusammen.

Das Süßwasser-Plankton. Von Dr. Otto Zacharias. Mit 49 Abbildungen. (Bd. 156.)
Gibt eine Anleitung zur Kenntnis jener mikroskopisch kleinen und für die Existenz der höheren Lebewesen und für die Naturgeschichte der Gewässer so wichtigen Tiere und Pflanzen. Die wichtigsten Formen werden vorgeführt und die merkwürdigen Lebensverhältnisse und -bedingungen dieser unsichtbaren Welt einfach und doch vielseitig erörtert.

Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. Otto Janson. 2. Aufl. Mit 41 Figuren. (Bd. 30.)
Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung auf geographischem, physikalisch-chemischem und biologischem Gebiete, die Verteilung von Wasser und Land auf der Erde, die Tiefen des Meeres, die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Meerwassers, endlich die wichtigsten Organismen des Meeres, die Pflanzen und Tiere.

Das Aquarium. Von Ernst Willy Schmidt. Mit Abbild. (Bd. 335.)
Gibt in zusammenhängender Darstellung die Wechselbeziehungen zwischen Tier, Pflanze und Umgebung: eine Aquarienbiologie.

Wind und Wetter. Von Prof. Dr. Leonhard Weber. 2. Auflage. Mit 28 Figuren und 3 Tafeln. (Bd. 55.)
Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, die dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

Der Kalender. Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)
Erklärt die für unsere Zeitrechnung bedeutsamen astronomischen Erscheinungen und schildert die historische Entwicklung des Kalenderwesens vom römischen Kalender ausgehend, den Werdegang der christlichen Kalender bis auf die neueste Zeit verfolgend, setzt ihre Einrichtungen auseinander und lehrt die Berechnung kalendarischer Angaben.

Der Bau des Weltalls. Von Prof. Dr. J. Scheiner. 3. Auflage. Mit 26 Figuren. (Bd. 24.)
Gibt eine anschauliche Darstellung vom Bau des Weltalls wie der einzelnen Weltkörper und der Mittel zu ihrer Erforschung.

Entstehung der Welt und der Erde, nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. D. M. B. Weinstein. (Bd. 223.)
Zeigt, wie die Frage der Entstehung der Welt und der Erde in den Sagen aller Völker und Zeiten und in den Theorien der Wissenschaft beantwortet worden ist.

Aus der Vorzeit der Erde. Von Prof. Dr. Fritz Frech. In 6 Bänden. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.)
In 6 Bänden wird eine vollständige Darstellung der Fragen der allgemeinen Geologie und physischen Erdkunde gegeben, wobei Übersichtstabellen die Fachausdrücke und die Reihenfolge der geologischen Perioden erläutern und auf neue, vorwiegend nach Original-Photographien angefertigte Abbildungen und auf anschauliche, lebendige Schilderung besonders Wert gelegt ist.

Band I: Vulkane einst und jetzt. Mit 80 Abbildungen. (Bd. 207.)
Gibt eine Darstellung des Wesens der vulkanischen Erscheinungen unter besonderer Berücksichtigung der letzten Katastrophen und der Folgeerscheinungen des Vulkanismus.

Band II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abbildungen. (Bd. 208.)
Gibt eine ausführliche Darstellung der Entstehung der Gebirge wie der Ursachen und Erscheinungsformen der Erdbeben unter besonderer Berücksichtigung der bei den letzten Katastrophen gemachten Erfahrungen.

Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abbildungen. (Bd. 209.)
Behandelt als eines der interessantesten Gebiete der Geologie die Arbeit fließenden Wassers, Talbildung u. Karstphänomen, Höhlenbildung u. Schlammvulkane, Wildbäche, Quellen u. Grundwasser.

Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Textabbildungen. (Bd. 210.)
Behandelt die grundlegenden erdgeschichtlichen Vorgänge der Bodenbildung und Abtragung, der Küstenbrandung und maritimen Gesteinsbildung und schließlich die Geographie der großen Ozeane in Vergangenheit und Zukunft.

Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. (Bd. 211.)
Band VI: Gletscher und Hochgebirge. (Bd. 61.)

Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. Samuel Oppenheim. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 110.)
Schildert den Kampf des geozentrischen und heliozentrischen Weltbildes, wie er schon im Altertum bei den Griechen entstanden ist, anderthalb Jahrtausende später zu Beginn der Neuzeit durch Kopernikus von neuem aufgenommen wurde und da erst mit einem Siege des heliozentrischen Systems schloß.

Der Mond. Von Prof. Dr. Julius Franz. Mit 31 Abbild. (Bd. 90.)
Gibt die Ergebnisse der neueren Mondforschung wieder, erörtert die Mondbewegung und Mondbahn, bespricht den Einfluß des Mondes auf die Erde und behandelt die Fragen der Oberflächenbedingungen des Mondes und die charakteristischen Mondgebilde, anschaulich zusammengefaßt in „Beobachtungen eines Mondbewohners", endlich die Bewohnbarkeit des Mondes.

Die Planeten. Von Prof. Dr. Bruno Peter. Mit 18 Figuren. (Bd. 240.)
Bietet unter steter Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung unserer Erkenntnis eine eingehende Darstellung der einzelnen Körper unseres Planetensystems und ihres Wesens.

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. Paul Crantz. In 2 Bänden. Mit Figuren. (Bd. 120. 205.)

I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. 2. Auflage. Mit 9 Figuren. (Bd. 120.)
II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. Mit 21 Figuren. (Bd. 205.)

Band I unterrichtet in leicht faßlicher, für das Selbststudium geeigneter eingehender Darstellung unter Beifügung ausführlich berechneter Beispiele über die sieben Rechnungsarten, die Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten und die Gleichungen zweiten Grades mit einer Unbekannten, Band II ebenso über Gleichungen höheren Grades, arithmetische und geometrische Reihen, Zinseszins- und Rentenrechnung, komplexe Zahlen und über den binomischen Lehrsatz.

Praktische Mathematik. Von Dr. R. Neuendorff. Mit Abb. (Bd. 341.)
In allgemeinverständlicher Weise werden Rechenmethoden und mathematische Apparate, die im praktischen Leben mit Vorteil Verwendung finden, erläutert und zu ihrer Verwendung Anregung gegeben.

Planimetrie zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. Paul Crantz. Mit Abbildungen. (Bd. 340.)
Das Buch enthält die Planimetrie bis zur Ähnlichkeitslehre und der Berechnung des Kreises. In möglichst einfacher und verständlicher Art macht es mit den Grundlehren der Planimetrie

vertraut. Rein geometrische Aufgaben sind in größerer Zahl vorhanden, deren Lösung teils ausführlich besprochen, teils kurz angedeutet worden ist. Ein ausführlicheres Register ist dem Buche zur leichteren Orientierung beigegeben.

Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. Gerhard Kowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
Will, ohne große Kenntnis vorauszusetzen, in die moderne Behandlungsweise der Infinitesimalrechnung einführen, die die Grundlage der gesamten mathematischen Naturwissenschaft bildet.

Mathematische Spiele. Von Dr. Wilhelm Ahrens. 2. Auflage. Mit 70 Figuren. (Bd. 170.)
Eine amüsante Anregung zum Nachdenken und Kopfzerbrechen, ohne alle mathematischen Vorkenntnisse verständlich.

Das Schachspiel und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. Max Lange. Mit den Bildnissen E. Laskers und P. Morphys, 1 Schachbrettafel und 43 Darstellungen von Übungsspielen. (Bd. 281.)
Sucht durch eingehende, leichtverständliche Einführung in die Spielgesetze sowie durch eine größere, mit Erläuterungen versehene Auswahl interessanter Schachgänge berühmter Meister diesem anregendsten und geistreichsten aller Spiele neue Freunde und Anhänger zu werben.

Hierzu siehe ferner:

Pfannkuche, Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. S. 5.

Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. Wilhelm Launhardt. 3. Auflage. Mit 16 Abbildungen. (Bd. 23.)
Ein großzügiger Überblick über die Entwicklung der Naturwissenschaften und Technik von den ersten Anfängen bis zu den höchsten Leistungen unserer Zeit.

Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat Kurt Merckel. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 60.)
Zeigt in einer Schilderung der Ingenieurbauten der Babylonier und Assyrer, der Ingenieurtechnik der alten Aegypter unter vergleichsweiser Behandlung der modernen Irrigationsanlagen daselbst, der Schöpfungen der antiken griechischen Ingenieure, des Städtebaues im Altertum und der römischen Wasserleitungsbauten die hohen Leistungen der Völker des Altertums.

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat Kurt Merckel. 2. Auflage. Mit 55 Abbildungen. (Bd. 28.)
Führt eine Reihe interessanter Ingenieurbauten, die Gebirgsbahnen und die Gebirgsstraßen der Schweiz und Tirols, die großen Eisenbahnverbindungen in Asien, endlich die modernen Kanal- und Hafenbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor.

Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)
Gibt eine fachmännische und dabei doch allgemein verständliche Darstellung dieses neuesten, in seiner Bedeutung für Hoch- und Tiefbau, Brücken- und Wasserbau stetig wachsenden Zweiges der Technik.

Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. Hermann Wedding. 3. Auflage. Mit 15 Figuren. (Bd. 20.)
Schildert, wie Eisen erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird, wobei besonders der Hochofenprozeß nach seinen chemischen, physikalischen und geologischen Grundlagen dargestellt und die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse erörtert werden.

Die Metalle. Von Prof. Dr. Karl Scheid. 2. Auflage. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)
Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle, die mutmaßliche Bildung der Erze, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, das Hüttenwesen mit seinen verschiedenen Systemen, die Fundorte der Metalle, ihre Eigenschaften, Verwendung und Verbreitung.

Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. von Ihering. 3 Bde. (Bd. 303/305.)
Durch Anwendung der graphischen Methode und Einfügung instruktiver Beispiele eine ausgezeichnete Darstellung der Grundlehren der Mechanik der festen Körper.
Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abbildungen. (Bd. 303.)
Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. (In Vorbereitung.) (Bd. 304.)
Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorbereitung.) (Bd. 305.)

Maschinenelemente. Von Prof. Richard Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)
Eine Übersicht über die Fülle der einzelnen ineinandergreifenden Teile, aus denen die Maschinen zusammengesetzt sind, und ihre Wirkungsweise.

Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. Richard Vater. Mit 67 Abbildungen. (Bd. 196.)
Eine für weitere Kreise bestimmte, durch zahlreiche einfache Skizzen unterstützte Abhandlung über die Hebezeuge, wobei das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper nach dem neuesten Stande der Forschungen eingehend behandelt wird.

Dampf und Dampfmaschine. Von Prof. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 63.)
Schildert die inneren Vorgänge im Dampfkessel und namentlich im Zylinder der Dampfmaschine, um so ein richtiges Verständnis des Wesens der Dampfmaschine und der in der Dampfmaschine sich abspielenden Vorgänge zu ermöglichen.

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Prof. Richard Vater. 3. Auflage. Mit 33 Abbildungen. (Bd. 21.)
Gibt eine die neuesten Fortschritte berücksichtigende Darstellung des Wesens, Betriebes und der Bauart der immer wichtiger werdenden Benzin-, Petroleum- und Spiritusmaschinen.

Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Prof. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 48 Abbildungen. (Bd. 86.)
Will ein Urteil über die Konkurrenz der modernen Wärmekraftmaschinen nach ihren Vor- und Nachteilen ermöglichen und weiter in Bau und Wirkungsweise der Dampfturbine einführen.

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh. Reg.-Rat Albrecht v. Ihering. Mit 73 Figuren. (Bd. 228.)
Führt von dem primitiven Mühlrad bis zu den großartigen Anlagen, mit denen die moderne Technik die Kraft des Wassers zu den gewaltigsten Leistungen auszunutzen versteht.

Landwirtsch. Maschinenkunde. Von Prof. Dr. Gust. Fischer. (Bd. 316.)
Ein Überblick über die verschiedenen Arten der landwirtschaftlichen Maschinen und ihre modernsten Vervollkommnungen.

Die Spinnerei. Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Prof. Dr. Friedrich Hahn. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 71.)
Nach einem Rückblick auf die frühesten Zeiten des Eisenbahnbaues führt der Verfasser die moderne Eisenbahn im allgemeinen nach ihren Hauptmerkmalen vor. Der Bau des Bahnkörpers, der Tunnel, die großen Brückenbauten sowie der Betrieb selbst werden besprochen, schließlich ein Überblick über die geographische Verbreitung der Eisenbahnen gegeben.

Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. Ernst Biedermann. Mit 50 Abb. (Bd. 144.)
Behandelt die wichtigsten Gebiete der modernen Eisenbahntechnik, Oberbau, Entwicklung und Umfang der Spurbahnnetze in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivenwesens bis zur Ausbildung der Heißdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits sowie der Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

Die Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abbildungen. (Bd. 322.)
Will weiteren Kreisen einen Einblick in Wesen und Eigenart und soziale Wichtigkeit der Klein- und Straßenbahnen vermitteln.

Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. Karl Blau. Mit 83 Abbild. (Bd. 166.)
Gibt einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobilismus, wobei besonders das Benzinautomobil, das Elektromobil und das Dampfautomobil nach ihren Kraftquellen und sonstigen technischen Einrichtungen wie Zündung, Kühlung, Bremsen, Steuerung, Bereifung usw. besprochen werden.

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. Rudolf Blochmann. Mit 128 Abbildungen. (Bd. 168.)
Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der elektrischen Erscheinungen, ihrer Grundgesetze und ihrer Beziehungen zum Magnetismus sowie eine Einführung in das Verständnis der zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektrizität.

Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninspektor Helmut Brick. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 235.)
Eine erschöpfende Darstellung der geschichtlichen Entwicklung, der rechtlichen und technischen Grundlagen sowie der Organisation und der verschiedenen Betriebsformen des Telegraphie- und Fernsprechwesens der Erde.

Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninspektor Helmuth Brick. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
Gibt, ohne auf technische Einzelheiten einzugehen, durch Illustrationen unterstützt, nach einer elementaren Darstellung der Theorie der Leitung, einen allgemein verständlichen Überblick über die Herstellung, Beschaffenheit und Wirkungsweise aller zur Übermittlung von elektrischem Strom dienenden Leitungen.

Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustrationen. (Bd. 167.)
Nach eingehender Darstellung des Systems Telefunken werden die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen Konstruktionstypen vorgeführt, wobei nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführte Anlagen beschrieben werden. Danach wird der Einfluß der Funkentelegraphie auf Wirtschaftsverkehr und Wirtschaftsleben sowie die Regelung der Funkentelegraphie im deutschen und internationalen Verkehr erörtert.

Nautik. Von Direktor Dr. Johannes Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)
Gibt eine allgemeinverständliche Übersicht über das gesamte Gebiet der Steuermannskunst, die Mittel und Methoden, mit deren Hilfe der Seemann sein Schiff sicher über See bringt.

Die Luftschiffahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. Raimund Nimführ. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.)
Bietet eine umfassende Darstellung der wissenschaftlichen Grundlagen und technischen Entwicklung der Luftschiffahrt, indem es vor allem das Problem des Vogelfluges und das aerostatische und aerodynamische Prinzip des künstlichen Fluges behandelt und eine ausführliche, durch zahlreiche Abbildungen unterstützte Beschreibung der verschiedenen Konstruktionen von Luftschiffen, von der Montgolfiere bis zum Motorballon und zum modernen Aeroplan gibt.

Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen. (Bd. 108.)
Behandelt die technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirklichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung.

Heizung und Lüftung. Von Ingenieur Johann Eugen Mayer. Mit 40 Abbildungen. (Bd. 241.)
Will über die verschiedenen Lüftungs- und Heizungsarten menschlicher Wohn- und Aufenthaltsräume orientieren und zugleich ein Bild von der modernen Lüftungs- und Heizungstechnik geben, um dadurch Interesse und Verständnis für die dabei in Betracht kommenden, in gesundheitlicher Beziehung so überaus wichtigen Gesichtspunkte zu erwecken.

Die Uhr. Von Reg.-Bauführer a. D. H. Bock. Mit 47 Abbild. (Bd. 216.)
Behandelt Grundlagen und Technik der Zeitmessung, sowie eingehend, durch zahlreiche technische Zeichnungen unterstützt, den Mechanismus der Zeitmesser und der feinen Präzisionsuhren nach seiner theoretischen Grundlage wie in seinen wichtigsten Teilen.

Wie ein Buch entsteht. Von Prof. Arthur W. Unger. 2. Auflage. Mit 7 Tafeln und 26 Abbildungen. (Bd. 175.)
Schildert in einer durch Abbildungen und Papier- und Illustrationsproben unterstützten Darstellung Geschichte, Herstellung und Vertrieb des Buches unter eingehender Behandlung sämtlicher buchgewerblicher Techniken.

Einführung in die chemische Wissenschaft. Von Prof. Dr. Walter Löb. Mit 16 Figuren. (Bd. 264.)
Ermöglicht durch anschauliche Darstellung der den chemischen Vorgängen zugrunde liegenden allgemeinen Tatsachen, Begriffe und Gesetze ein gründliches Verständnis dieser und ihrer praktischen Anwendungen.

Bilder aus der chemischen Technik. Von Dr. Artur Müller. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 191.)
Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der Ziele und Hilfsmittel der chemischen Technik im allgemeinen, wie der wichtigsten Gebiete (z. B.: Schwefelsäure, Soda, Chlor, Salpetersäure, Teerdestillation, Farbstoffe) im besonderen.

Der Luftstickstoff und seine Verwertung. Von Prof. Dr. Karl Kaiser. Mit 13 Abbildungen. (Bd. 313.)
Ein Überblick über Wesen, Bedeutung und Geschichte dieses wichtigsten und modernsten Problems der Agrikulturchemie bis auf die neuesten erfolgreichen Versuche zu seiner Lösung.

Agrikulturchemie. Von Dr. P. Krische. Mit 21 Abbild. (Bd. 314.)
Eine allgemeinverständliche Übersicht über Geschichte, Aufgaben, Methoden, Resultate und Erfolge dieses volkswirtschaftlich so wichtigen Zweiges der angewandten Chemie.

Die Bierbrauerei. Von Dr. A. Bau. Mit 47 Abbildungen. (Bd. 333.)
Geschichte, Technik und volkswirtschaftliche Bedeutung der Bierbrauerei.

Chemie und Technologie der Sprengstoffe. Von Prof. Dr. Rud. Biedermann. Mit 15 Figuren. (Bd. 286.)
Gibt eine allgemeinverständliche, umfassende Schilderung des Gebietes der Sprengstoffe, ihrer Geschichte und ihrer Herstellung bis zur modernen Sprengstoffgroßindustrie, ihrer Fabrikation, Zusammensetzung und Wirkungsweise sowie ihrer Anwendung auf den verschiedenen Gebieten.

Photochemie. Von Prof. Dr. Gottfried Kümmell. Mit 23 Abb. (Bd. 227.)
Erklärt in einer für jeden verständlichen Darstellung die chemischen Vorgänge und Gesetze der Einwirkung des Lichtes auf die verschiedenen Substanzen und ihre praktische Anwendung, besonders in der Photographie, bis zu dem jüngsten Verfahren der Farbenphotographie.

Die Photographie. Von Hans Schmidt. (Bd. 280.)

Elektrochemie. Von Prof. Dr. Kurt Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
Eröffnet einen klaren Einblick in die wissenschaftlichen Grundlagen dieses modernsten Zweiges der Chemie, um dann seine glänzenden technischen Erfolge vor Augen zu führen.

Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. Johannes Bongardt. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Abbildungen. (Bd. 125. 126.)
I. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abb. (Bd. 125.)
II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen. (Bd. 126.)
Will an der Hand einfacher Beispiele, unterstützt durch Experimente und Abbildungen, zu naturwissenschaftlichem Verstehen einfacher physikalischer und chemischer Vorgänge im Haushalt anleiten.

Chemie in Küche und Haus. Von weil. Prof. Dr. Gustav Abel. 2. Aufl. von Dr. Joseph Klein. Mit einer mehrfarbigen Doppeltafel. (Bd. 76.)
Gibt eine vollständige Übersicht und Belehrung über die Natur der in Küche und Haus sich vollziehenden mannigfachen chemischen Prozesse.

Hierzu siehe ferner:

Bruns, Die Telegraphie. S. 17. **Graetz**, Das Licht und die Farben. S. 22. **Alt**, Die Kälte. S. 23. **Bavink**, Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. S. 23.

farbig

....
handenen Bil
Indessen es g
müssen vor a
bäude und Sc
werden sie di
man sich vor
zu Weihnacht
heiten merke
verwöhnter
Ausgabe, di
wertvolles

„Von
Bewegung'
'künstlerische
herausgibt.
Sache mit re
uns — förde
„Alt u
Wirkungen,
einmal etw
übertreten k
....Es
als an viele
Wissen zu le

Illustri
Einsendun

